LENGJIYA SHIYONG JISHU

冷挤压实用技术

洪慎章 编著

第2版



- 以冷挤压工艺与模具设计为重点
- 涵盖丰富的工艺实例与模具实例



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

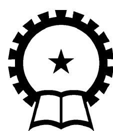


洪慎章　1932年生，浙江鄞县人，上海交通大学教授。曾任上海交通大学锻压教研室副主任，上海模具技术研究所教研室主任，中国锻压学会模具学术委员会委员。1952年考入浙江大学机械系金工专业学习，1953年被选派为留苏预备生在北京外国语学院学习，1960年毕业于原苏联列宁格勒加里宁工学院机械系锻压专业，获技术科学副博士学位。长期从事塑性成形加工教学及研究工作，主要科研方向为金属材料近净成形的各种新技术及成形过程数字化控制。在国内外技术期刊上发表论文300多篇，主编或参编出版著作30多本。

冷挤压实用技术

第 2 版

洪慎章　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍了冷挤压工艺及模具设计技术。全书内容包括：冷挤压基础、冷挤压件的原材料及毛坯准备、冷挤压零件设计、冷挤压工艺制订、冷挤压模具设计、冷成形工艺、温挤压技术、冷挤压压力机、冷挤压模具的装配及使用、冷挤压件质量分析、冷挤压零件工艺实例（129 个）、冷挤压模具结构设计实例（91 个）。本书结构体系新颖，技术内容全面；书中配有丰富的应用实例，实用性强，能开拓思路，通俗易懂，便于自学。

本书主要可供从事冷挤压成形加工的工程技术人员、工人使用，也可作为相关专业在校师生及研究人员的参考书和模具培训班的教材。

图书在版编目（CIP）数据

冷挤压实用技术/洪慎章编著. —2 版. —北京：机械工业出版社，2014.5

ISBN 978 - 7 - 111 - 46647 - 5

Ⅰ.①冷…　Ⅱ.①洪…　Ⅲ.①冷加工 - 挤压　Ⅳ.①TG376.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 092976 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：陈保华　责任编辑：陈保华
版式设计：霍永明　责任校对：任秀丽　胡艳萍
封面设计：陈　沛　责任印制：刘　岚
北京京丰印刷厂印刷
2014 年 7 月第 2 版 · 第 1 次印刷
169mm × 239mm · 29.75 印张 · 655 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 46647 - 5
定价：69.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销售一部：（010）68326294
销售二部：（010）88379649
读者购书热线：（010）88379203
策划编辑：（010）88379734

网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952

封面无防伪标均为盗版

前　言

冷挤压技术在机械、航空、仪表、军工、电子通信和轻工民用产品中已得到了广泛的应用。由于冷挤压技术具有节约材料、提高生产效率、提高产品的力学性能、降低制造成本、适合大批量生产的优点，所以进一步研究与推广应用冷挤压技术，在我国现代化建设中有着十分广阔的前景。

根据中国锻压协会资料统计，我国 2012 年汽车产量达 2200 万辆，其中冷挤压件产量约 20 万 t，占模锻件的 5%。而美国每年生产冷挤件 100 万件以上，80% 为汽车零件。日本丰田 1.8L 排气量轿车中有 43kg 冷挤压件，还有 35kg 冷挤压标准件。因此，在我国，冷挤压技术的应用还需进一步发展扩大。

《冷挤压实用技术》出版近 10 年了，第 1 版印刷两次，共计 6000 册。近年来，冷挤压技术有了较大发展，该书已经不能满足读者的需求。为了与时俱进，适应冷挤压行业发展和读者需求，决定对该书进行修订，出版第 2 版。本书第 2 版仍继续坚持第 1 版的内容特点：突出冷挤压原理、成形工艺与模具设计等内容，且进行有机的融合，从实用角度出发，围绕工艺规程编制和模具设计，阐明冷挤压技术中的最基本问题。在内容编排次序上，首先介绍了冷挤压成形的基本原理、冷挤压件的原材料及毛坯准备，以及冷挤压零件设计；在此基础上，详细地叙述了冷挤压工艺制订及模具设计，以及冷挤压新技术，如微型医疗器械产品等；最后列举了 129 个各种各样零件的工艺应用实例及 91 个各种各样零件的模具结构设计实例。书中还附有大量的可供实际使用的图表资料，可使读者学习本书之后，就能独立编制冷挤压工艺规程及设计冷挤压模具。

本书作为一本基本理论与生产实际相结合的冷挤压工艺及模具设计书籍，可供从事冷挤压成形加工的工程技术人员、工人使用，也可作为相关专业在校师生及研究人员的参考书和模具培训班的教材。

在本书编写工作中，刘薇、洪永刚、丁惠珍等工程师们参加了书稿的整理工作，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教，以便得以修正，以臻完善。

洪慎章

于上海交通大学

目　　录

前言
第 1 章　冷挤压基础 …… 1
1.1　冷挤压的实质及分类 …… 1
1.1.1　冷挤压的实质 …… 1
1.1.2　冷挤压的分类 …… 3
1.2　冷挤压的金属流动规律 …… 7
1.3　化学成分和组织状态对冷挤压变形的影响 …… 9
1.3.1　化学成分对冷挤压变形的影响 …… 9
1.3.2　组织状态对冷挤压变形的影响 …… 12
1.4　应力与应变对变形的影响 …… 13
1.4.1　应力与应变状态的定性分析 …… 13
1.4.2　应力与应变的关系 …… 15
1.4.3　变形力学条件对变形的影响 …… 17
1.5　冷挤压过程中产生的现象 …… 19
1.5.1　加工硬化 …… 19
1.5.2　热效应 …… 21
1.5.3　附加应力 …… 22
1.5.4　残余应力 …… 24
1.6　冷挤压时的外摩擦和润滑 …… 25
1.6.1　冷挤压过程中的摩擦特点及种类 …… 25
1.6.2　影响摩擦力的因素 …… 26
1.6.3　冷挤压中的润滑剂 …… 30
1.7　冷挤压对金属组织和力学性能的影响 …… 31
1.7.1　对金属组织的影响 …… 31
1.7.2　对力学性能的影响 …… 33
1.8　冷挤压工艺的优缺点及应用范围 …… 36
1.8.1　冷挤压工艺的优点 …… 36
1.8.2　冷挤压工艺的缺点 …… 41
1.8.3　冷挤压工艺的应用范围 …… 41
1.9　冷挤压技术现状及发展方向 …… 41
第 2 章　冷挤压件的原材料及毛坯准备 …… 45
2.1　原材料的形态及其要求 …… 45
2.1.1　原材料的形态 …… 45
2.1.2　对冷挤压材料的要求 …… 46

2.2　冷挤压用材料 …… 51
2.2.1　有色金属 …… 52
2.2.2　钢 …… 56
2.3　冷挤压毛坯的制备 …… 57
2.3.1　毛坯的下料方法 …… 57
2.3.2　剪切下料的技术要求及常见疵病 …… 65
2.3.3　毛坯的预成形 …… 67
2.4　毛坯软化处理 …… 70
2.4.1　碳钢及低合金钢 …… 71
2.4.2　不锈钢 …… 75
2.4.3　有色金属 …… 75
2.5　毛坯表面处理与润滑 …… 77
2.5.1　冷挤压毛坯表面预处理 …… 77
2.5.2　磷化处理 …… 79
2.5.3　草酸盐覆层 …… 82
2.5.4　冷挤压润滑剂 …… 82
第3章　冷挤压零件设计 …… 85
3.1　冷挤压零件的分类 …… 85
3.2　毛坯尺寸计算 …… 87
3.3　冷挤压的变形程度 …… 93
3.4　挤压件的尺寸精度 …… 97
3.5　冷挤压力的计算 …… 99
3.5.1　冷挤压力的计算分析 …… 99
3.5.2　冷挤压力的计算方法 …… 100
第4章　冷挤压工艺制订 …… 110
4.1　冷挤压工艺的设计内容及方法 …… 110
4.1.1　工艺设计前的准备工作 …… 110
4.1.2　工艺设计的主要内容和方法 …… 111
4.1.3　成形方法的评价和估算 …… 112
4.2　冷挤压工序的设计原则 …… 113
4.3　冷挤压工艺方案 …… 115
4.4　冷挤压工艺计算实例 …… 120
第5章　冷挤压模具设计 …… 127
5.1　冷挤压模具的分类、构造及设计方法 …… 127
5.2　冷挤压模具结构设计 …… 130
5.2.1　模具结构设计要求及内容 …… 131
5.2.2　模具结构形式的种类 …… 132
5.2.3　模具结构形式的确定 …… 135
5.3　典型模架结构 …… 136

5. 3. 1　反挤压模架 …… 136
5. 3. 2　正挤压模架 …… 138
5. 3. 3　复合挤压模架 …… 139
5. 3. 4　简易敞开式通用模架 …… 139
5. 3. 5　小型冷挤压通用模架 …… 139
5. 3. 6　中型冷挤压万能式通用模架 …… 140
5. 4　模具工作部分的设计 …… 141
5. 4. 1　反挤压凸模设计 …… 141
5. 4. 2　反挤压凹模设计 …… 143
5. 4. 3　顶出杆设计 …… 145
5. 4. 4　底面向上空心件的正挤压模具设计 …… 145
5. 4. 5　实心件或口部向上空心件的正挤压模具设计 …… 147
5. 4. 6　制造尺寸及公差计算 …… 150
5. 5　组合凹模的计算及应用 …… 151
5. 5. 1　组合凹模的计算 …… 151
5. 5. 2　组合凹模压合工艺的应用 …… 153
5. 6　模具的固定 …… 158
5. 6. 1　零件固定方法 …… 158
5. 6. 2　紧固零件设计 …… 162
5. 7　模具的配合要求 …… 164
5. 7. 1　部件配合要求 …… 164
5. 7. 2　凸、凹模配合要求 …… 166
5. 7. 3　零件加工要求 …… 168
第 6 章　冷成形工艺 …… 171
6. 1　冷模锻 …… 171
6. 2　冷镦 …… 179
6. 3　高速冷挤压 …… 188
6. 4　静液挤压 …… 191
6. 5　摆辗挤压 …… 199
6. 6　微型零件的挤压 …… 203
第 7 章　温挤压技术 …… 212
7. 1　温挤压的优缺点及其应用范围 …… 212
7. 2　温挤压温度的选择 …… 214
7. 3　温挤压毛坯的准备 …… 219
7. 4　温挤压力 …… 221
7. 4. 1　影响变形力的因素 …… 221
7. 4. 2　温挤压力的计算 …… 224
7. 5　温挤压用润滑剂 …… 230
7. 6　温挤压模具 …… 232

7.6.1　模具材料的要求及选用 …… 232
7.6.2　模具结构 …… 233
7.6.3　凸模与凹模设计 …… 235
7.6.4　组合凹模 …… 236
7.6.5　模具的冷却 …… 237
7.7　产品的力学性能及尺寸精度 …… 237
7.8　温挤压工艺实例 …… 240
7.8.1　结构钢温挤压工艺 …… 240
7.8.2　轴承钢温挤压工艺 …… 248
7.8.3　不锈钢温挤压工艺 …… 253
7.8.4　高温合金温挤压工艺 …… 257
7.8.5　铝合金温挤压工艺 …… 258
第8章　冷挤压压力机 …… 260
8.1　概述 …… 260
8.2　机械压力机和液压机 …… 263
8.3　压力机吨位的选择 …… 268
第9章　冷挤压模具的装配及使用 …… 271
9.1　冷挤压模具的装配 …… 271
9.2　冷挤压模具的试模 …… 273
9.3　冷挤压模具失效与使用寿命 …… 276
9.4　冷挤压模具损坏的检查方法 …… 277
9.5　冷挤压模具的损坏与预防措施 …… 279
9.5.1　凸模损坏与预防措施 …… 279
9.5.2　凹模损坏与预防措施 …… 284
9.5.3　预应力圈损坏与预防措施 …… 286
9.5.4　压力板损坏与预防措施 …… 286
9.6　影响冷挤压模具使用寿命的因素 …… 287
9.7　提高冷挤压模具使用寿命的方法 …… 287
第10章　冷挤压件质量分析 …… 293
10.1　质量问题分析及防止措施 …… 293
10.2　冷挤压件的力学性能 …… 306
第11章　冷挤压零件工艺实例 …… 309
实例1　夹头 …… 309
实例2　细孔管 …… 309
实例3　可变微调电容器 …… 309
实例4　支架 …… 310
实例5　锥形套 …… 310
实例6　凸缘盖 …… 310
实例7　矩形罩壳 …… 311

实例 8　薄壁外壳 …… 311
实例 9　薄壁外罩 …… 312
实例 10　方形罩 …… 312
实例 11　圆形外壳 …… 312
实例 12　高压电器盒 …… 312
实例 13　正方罩 …… 312
实例 14　极薄屏蔽罩 …… 313
实例 15　管套 …… 314
实例 16　接触件套 …… 314
实例 17　打火机外壳 …… 314
实例 18　异型屏蔽罩 …… 314
实例 19　矩形屏蔽罩 …… 316
实例 20　方形多隔层屏蔽罩 …… 316
实例 21　矩形多隔层屏蔽罩 …… 316
实例 22　插座 …… 317
实例 23　双层套 …… 317
实例 24　柱体 …… 318
实例 25　方形开关 …… 318
实例 26　话筒接头 …… 318
实例 27　转子杯 …… 319
实例 28　指示杯 …… 319
实例 29　十六角圆筒 …… 320
实例 30　轴套 …… 320
实例 31　圆轴壳体 …… 320
实例 32　转子支架 …… 320
实例 33　凸缘长管 …… 321
实例 34　方头柱塞 …… 322
实例 35　包角件 …… 322
实例 36　照相机后镜筒 …… 323
实例 37　阶梯锥形套 …… 323
实例 38　回旋针 …… 323
实例 39　加压器 …… 324
实例 40　顶杆 …… 324
实例 41　照明灯座套 …… 325
实例 42　快门内芯 …… 325
实例 43　阶梯外壳 …… 325
实例 44　罩杯 …… 325
实例 45　带法兰灯座 …… 326
实例 46　拉杆接头 …… 327

实例 47　排气管 ………… 328
实例 48　底座 ………… 328
实例 49　套管 ………… 328
实例 50　管座 ………… 328
实例 51　连接外管 ………… 329
实例 52　阳极芯 ………… 329
实例 53　圆形支座 ………… 329
实例 54　固定盘 ………… 330
实例 55　法兰座 ………… 330
实例 56　凸缘座 ………… 331
实例 57　电焊嘴 ………… 331
实例 58　开关导电管 ………… 332
实例 59　接线螺杆 ………… 332
实例 60　凸缘 ………… 333
实例 61　环套 ………… 333
实例 62　盖体 ………… 333
实例 63　控制盒 ………… 333
实例 64　铜合金转子杯 ………… 334
实例 65　罩盖 ………… 334
实例 66　铜管接头 ………… 335
实例 67　银触头 ………… 335
实例 68　阴极头 ………… 336
实例 69　膨胀合金接头 ………… 336
实例 70　钢管接头 ………… 336
实例 71　棘轮 ………… 337
实例 72　水阀套 ………… 338
实例 73　钢柱体 ………… 338
实例 74　极套 ………… 338
实例 75　轴承盖 ………… 339
实例 76　钢碗 ………… 339
实例 77　气门顶杆 ………… 339
实例 78　万向联轴器轴承 ………… 340
实例 79　万向联轴器轴承套 ………… 340
实例 80　缝纫机梭芯套 ………… 341
实例 81　低脚梭芯套壳 ………… 341
实例 82　高脚梭芯套壳 ………… 342
实例 83　高脚梭芯 ………… 343
实例 84　长梭芯套壳 ………… 343
实例 85　缝纫机梭床 ………… 344

实例 86　缝纫机梭芯 …… 344
实例 87　火花塞壳体 …… 345
实例 88　前轮胎螺母 …… 345
实例 89　重型汽车轮胎螺母 …… 345
实例 90　轮胎螺母 …… 346
实例 91　支承螺钉 …… 347
实例 92　汽车球头销 …… 347
实例 93　接头螺母 …… 347
实例 94　钢接头 …… 349
实例 95　钻夹头钥匙 …… 349
实例 96　圆头螺钉 …… 349
实例 97　气门弹簧座 …… 350
实例 98　矩形外罩壳 …… 350
实例 99　支承杆 …… 351
实例 100　导管 …… 351
实例 101　半轴 …… 352
实例 102　注射杯 …… 352
实例 103　通风机壳体 …… 353
实例 104　缓冲器衬套 …… 353
实例 105　仪表座 …… 354
实例 106　气管螺母 …… 355
实例 107　深孔气缸 …… 356
实例 108　轴承圈 …… 356
实例 109　深孔锥形件 …… 357
实例 110　单向带孔锥形件 …… 358
实例 111　双向带孔锥形件 …… 358
实例 112　花键轴套 …… 359
实例 113　波轮轴 …… 359
实例 114　内棘齿轮 …… 359
实例 115　阶梯孔棘齿 …… 360
实例 116　内棘齿壳体 …… 360
实例 117　内齿套筒 …… 361
实例 118　驱动齿轮 …… 361
实例 119　锥形支座 …… 362
实例 120　法兰轴套 …… 362
实例 121　水冷接头 …… 362
实例 122　钎套 …… 363
实例 123　球头销 …… 363
实例 124　端盖 …… 363

实例 125　调速套 …… 364
实例 126　不锈钢外壳 …… 364
实例 127　油泵活塞 …… 365
实例 128　磁极 …… 365
实例 129　火花塞壳体（多工位自动机） …… 366
第 12 章　冷挤压模具结构设计实例 …… 367
实例 1　薄壁管冷挤压模具 …… 367
实例 2　管罩冷挤压模具 …… 368
实例 3　铆管冷挤压模具 …… 369
实例 4　抽动式衬套正挤压、切边模 …… 370
实例 5　夹头冷挤压模具 …… 371
实例 6　多层电容器冷挤压模具 …… 371
实例 7　发电机水冷接头冷挤压模具 …… 372
实例 8　管罩冷挤压模具 …… 373
实例 9　外罩冷挤压模具 …… 373
实例 10　电容器外壳冷挤压模具 …… 375
实例 11　薄壁件反挤压通用模具 …… 376
实例 12　微型电路铝壳冷挤压模具 …… 377
实例 13　管壳冷挤压模具 …… 378
实例 14　薄膜电路壳体冷挤压模具 …… 378
实例 15　大壳体冷挤压模具 …… 379
实例 16　航空接插件外壳冷挤压模具 …… 380
实例 17　扬声器话筒接头冷挤压模具 …… 380
实例 18　绳轮冷挤压模具 …… 381
实例 19　微型电动机转子杯冷挤压模具 …… 383
实例 20　轴套冷挤压模具 …… 384
实例 21　转子冷挤压模具 …… 385
实例 22　旋转座冷挤压模具 …… 386
实例 23　凸缘壳体冷挤压模具 …… 387
实例 24　加压器冷挤压模具 …… 388
实例 25　铝外罩冷挤压模具 …… 389
实例 26　照相机内镜筒冷挤压模具 …… 389
实例 27　弯角件对称冷挤压模具 …… 391
实例 28　仪器箱锁门冷挤压模具 …… 392
实例 29　铝罩冷挤压模具 …… 393
实例 30　闷头冷挤压模具 …… 394
实例 31　高压开关方帽冷挤压模具 …… 394
实例 32　高压开关触头冷挤压模具 …… 394
实例 33　阳极筒冷挤压模具 …… 396

实例 34　外罩冷挤压模具 …… 397
实例 35　管座冷挤压模具 …… 398
实例 36　屏蔽罩冷挤压模具 …… 399
实例 37　双水内冷发电机水冷接头冷挤压模具 …… 400
实例 38　接线柱冷挤压模具 …… 401
实例 39　晶闸管底座冷挤压模具 …… 402
实例 40　灯管铜帽冷挤压模具 …… 403
实例 41　导电杆预成形件冷挤压模具 …… 403
实例 42　导电杆终成形件冷挤压模具 …… 405
实例 43　高压开关插座冷挤压模具 …… 406
实例 44　栅极引出线冷挤压模具 …… 407
实例 45　旋钮帽冷挤压模具 …… 407
实例 46　轴套冷挤压模具 …… 409
实例 47　纯铁底座冷挤压模具 …… 410
实例 48　钢前筒冷挤压模具 …… 411
实例 49　刷杆冷挤压模具 …… 412
实例 50　推杆上接头冷挤压模具 …… 413
实例 51　自行车前钢碗冷挤压模具 …… 414
实例 52　螺母冷挤压模具 …… 415
实例 53　锥套冷挤压模具 …… 415
实例 54　不锈钢外壳冷挤压模具 …… 416
实例 55　夹线螺钉座冷挤压模具 …… 416
实例 56　液压件管帽冷挤压模具 …… 418
实例 57　钢碗冷挤压模具 …… 419
实例 58　汽车轮胎螺母冷挤压模具 …… 420
实例 59　汽车滚针轴承外套冷挤压模具 …… 421
实例 60　梭芯套冷挤压模具 …… 422
实例 61　自行车左中轴碗冷挤压模具 …… 423
实例 62　螺母复合挤压模具 …… 424
实例 63　极铁冷挤压模具 …… 424
实例 64　管接头冷挤压模具 …… 426
实例 65　圆盖冷挤压模具 …… 427
实例 66　倒牙钢碗冷挤压模具 …… 428
实例 67　管帽冷挤压模具 …… 429
实例 68　发动机气门顶杆冷挤压模具 …… 430
实例 69　轴承内圈冷挤压模具 …… 430
实例 70　轴承套圈冷挤压模具 …… 431
实例 71　力车轴挡冷挤压模具 …… 432
实例 72　汽车轮胎螺母预成形件冷挤压模具 …… 432

实例 73　汽车轮胎螺母终成形件冷挤压模具 …… 433
实例 74　火花塞壳体冷挤压模具 …… 435
实例 75　汽车起动齿轮冷挤压模具 …… 437
实例 76　凿岩机零件冷挤压模具 …… 438
实例 77　活塞销冷挤压模具 …… 439
实例 78　钢接头冷挤压模具 …… 440
实例 79　自行车花盘冷挤压模具 …… 441
实例 80　钻夹头钥匙预成形模具 …… 442
实例 81　钻夹头钥匙冷挤压模具 …… 442
实例 82　汽油机弹簧座冷挤压模具 …… 443
实例 83　螺塞冷镦模具 …… 444
实例 84　汽车球头销冷镦模具 …… 444
实例 85　多层旋转体冷挤压模具 …… 446
实例 86　不锈钢轴套冷挤压模具 …… 446
实例 87　法兰面自锁螺母冷挤压模具 …… 446
实例 88　卷筒内齿轮冷挤压模具 …… 448
实例 89　齿圈冷挤压模具 …… 450
实例 90　双金属凸缘冷挤压模具 …… 451
实例 91　火花塞壳体（多工位自动机）冷挤压模具 …… 452
附录 …… 454
附录 A　冷挤压模具各个零件的材料及硬度 …… 454
附录 B　常用压力机技术参数 …… 455
参考文献 …… 460

第 1 章　冷挤压基础

1.1　冷挤压的实质及分类

1.1.1　冷挤压的实质

冷挤压是利用金属材料塑性变形的原理，在室温条件下，将冷态金属毛坯放入装在压力机上的模具型腔内，在强大的压力和一定的速度作用下，迫使金属毛坯产生塑性流动，通过凸模与凹模的间隙或凹模出口，挤出空心零件或断面比毛坯断面要小的实心零件，可获得所需一定形状及尺寸，还具有较高力学性能挤压件的工艺技术。冷挤压是无切屑或少切屑零件加工工艺之一，是金属塑性加工中一种先进的加工方法。图 1-1 ~ 图 1-4 所示的普通碳素钢缝纫机梭芯套、低碳钢深孔气缸、中碳钢洗衣机齿轮轴及碳素工具钢连接帽都是冷挤压加工出来的。

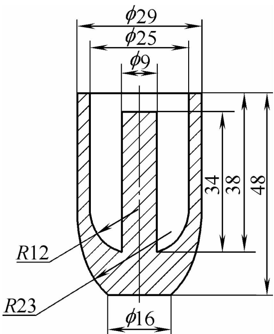


图 1-1　冷挤压普通碳素钢缝纫机梭芯套

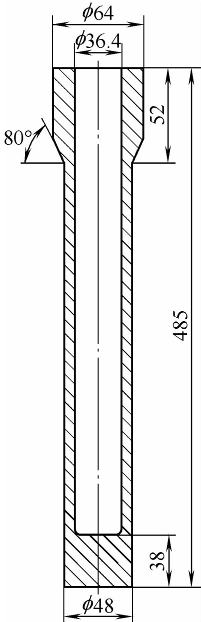


图 1-2　冷挤压低碳钢深孔气缸

从上述所得的产品图中可见，冷挤压加工是靠模具来控制金属流动，靠软化金属体积的大量转移来成形所需的零件的。由此可知，冷挤压工艺的成功与失败与模具结构设计、模具材料以及金属毛坯的软化处理等密切相关。

冷挤压方法既可用于生产成批的金属零件，也可以加工各种模具的型腔，图 1-5 ~ 图 1-13 所示为纯铝、防锈铝、硬铝、锻铝、纯铜、无氧铜、黄铜、铬钼钢与轴承钢的冷挤压零件。

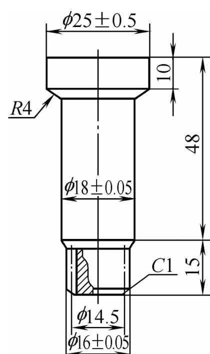


图 1-3　冷挤压中碳钢洗衣机齿轮轴

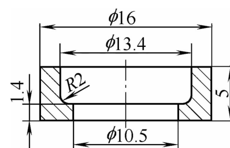


图 1-4　冷挤压碳素工具钢连接帽

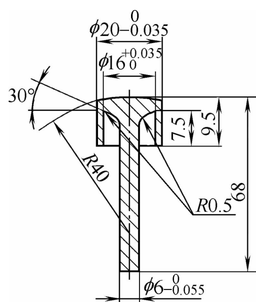


图 1-5　冷挤压纯铝仪表支架

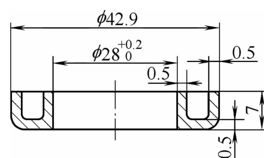


图 1-6　冷挤压防锈铝加压器

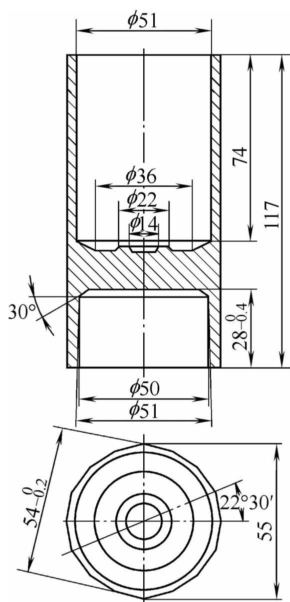


图 1-7　冷挤压硬铝十六角圆筒

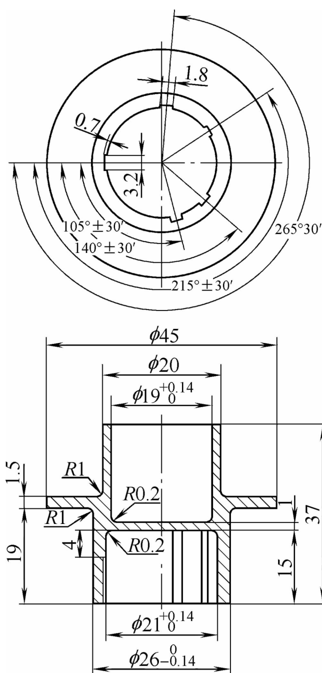


图 1-8　冷挤压锻铝凸缘壳体

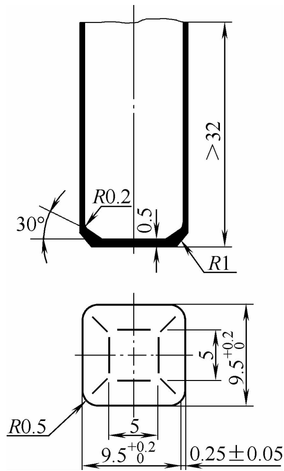


图 1-9　冷挤压纯铜正方薄壁屏蔽罩

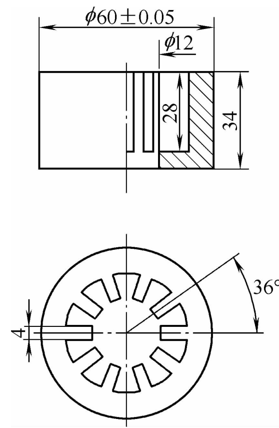


图 1-10　冷挤压无氧铜管座

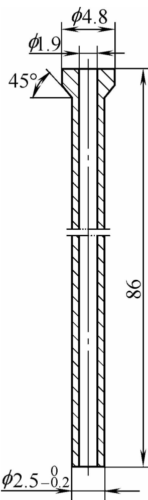


图 1-11　冷挤压黄铜仪表套管

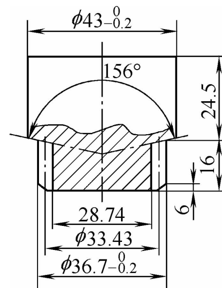


图 1-12　冷挤压铬钼钢小链轮

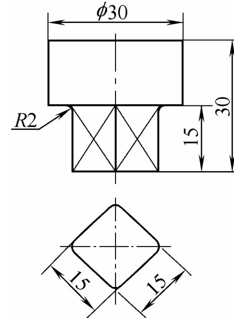


图 1-13　冷挤压轴承钢方身塞头

冷挤压加工的成形速度范围很广，所用的设备可以在专用的冷挤压压力机上进行，也可在一般的机械压力机或液压机、摩擦压力机以及高速锤上进行。

1.1.2　冷挤压的分类

冷挤压可按金属流动方向、金属流动速度等进行分类。

1. 按金属流动方向分类

根据金属流动方向与凸模运动方向之间的相互关系，冷挤压方法有以下 7 种。

（1）正挤压　正挤压时金属的流动方向与凸模的运动方向相同。图 1-14 所示为正

挤压实心工件的情况。加工时先将毛坯放在凹模内，凹模底上有一个大小与所制零件外径相当的孔，然后用凸模加压法挤压毛坯。凸模的压力使金属进入塑性状态，并强迫金属从凹模的小孔中流出，从而制成所需的工件。一般来说，正挤压可以制造各种形状的实心零件（采用实心毛坯），也可以制造各种形状的空心件（采用空心毛坯或杯形毛坯）。图 1-15 所示为正挤压空心工件的情况，空心工件如套管、弹壳及衬套等。

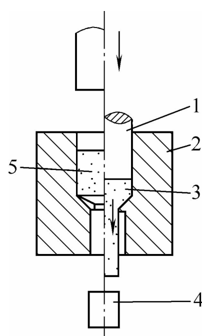


图 1-14　正挤压实心件
1—凸模　2—凹模　3—挤压件
4—顶料杆　5—毛坯

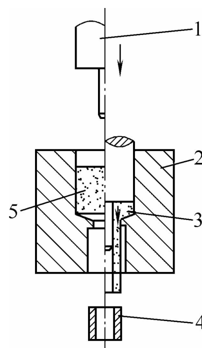


图 1-15　正挤压空心件
1—凸模　2—凹模　3—挤压件
4—顶料杆　5—毛坯

（2）反挤压　反挤压时金属的流动方向与凸模的运动方向相反。图 1-16 所示为反挤压空心杯形工件的过程。加工时把扁平的毛坯放在凹模底上（凹模与凸模在半径方向上的间隙等于杯形零件的壁厚），当凸模向毛坯施加压力时，金属便沿凸模与凹模之间的间隙向上流动，从而制成所需的空心杯形零件。反挤压方向可以制造各种断面的杯形空心工件，如罩壳、外壳、套筒、套管、屏蔽罩及灯座等。

（3）复合挤压　复合挤压时，毛坯一部分金属流动方向与凸模的运动方向相同，而另一部分金属的流动方向与凸模运动方向相反。图 1-17 所示为复合挤压的工作情况。在凸模的压力作用下，金属向两个不同的方向流动，发生了双向挤出变形。这是正挤压和反挤压组合在一起的一种挤压方法。

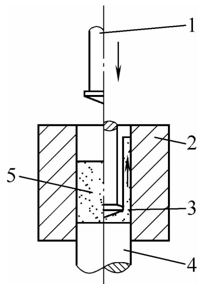


图 1-16　反挤压杯形件
1—凸模　2—凹模　3—挤压件
4—顶料杆　5—毛坯

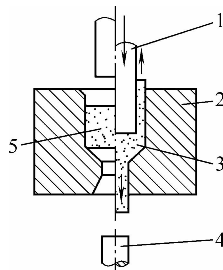


图 1-17　复合挤压
1—凸模　2—凹模　3—挤压件
4—顶料杆　5—毛坯

按照正挤压和反挤压的不同组合方式，可以将复合挤压分成如下三种情况：杆-杆件复合挤压（见图 1-18a），这是反挤压杆形件与正挤压杆形件的组合；杯-杯件复合挤压（见图 1-18b），这是杯形件反挤压与杯形件正挤压的组合；杯-杆件复合挤压（见图 1-17），这是杯形件反挤压与杆形件正挤压的组合。

复合挤压方法可以制造双杯类零件（如汽车活塞销），也可以制造杯杆类零件（如缝纫机梭芯）。

（4）减径挤压　它是变形程度较小的一种变态正挤压法，毛坯截面仅作轻度的缩减。图 1-19 所示为减径挤压的工作情况。减径挤压主要用于制造直径差不大的阶梯轴类零件也可作为深孔杯形件的修整工序。

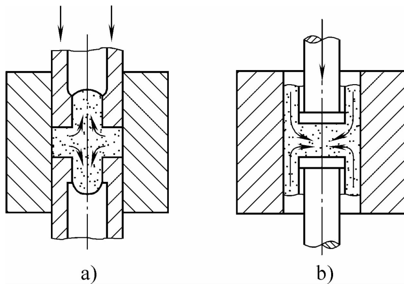


图 1-18　复合挤压的两种类型

a）杆-杆件　b）杯-杯件

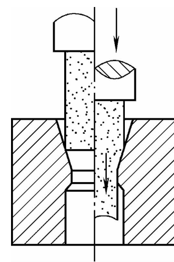


图 1-19　减径挤压

正挤压、反挤压、复合挤压与减径挤压是冷挤压方法中应用最广的四种成形方法。这四种方法的金属流动方向都与凸模的轴线平行，因此又统称为轴向冷挤压。

（5）径向挤压　径向挤压时，金属的流动方向与凸模的运动方向相垂直。图 1-20 所示为径向挤压的工作情况。径向挤压又分为离心挤压和向心挤压两种，主要用于制造带凸肩的齿轮坯以及十字轴类零件。图 1-21 所示为用径向离心冷挤压方法生产铝合金零件，金属毛坯在凸模压力的作用下沿径向向外流出。图 1-22 所示为通信器材中的铝合金号码盘，内齿与外圆的阿拉伯字码一次挤出，内齿是用径向向心挤压法加工的。

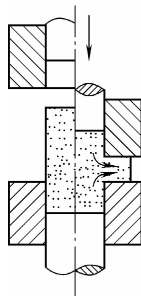


图 1-20　径向挤压

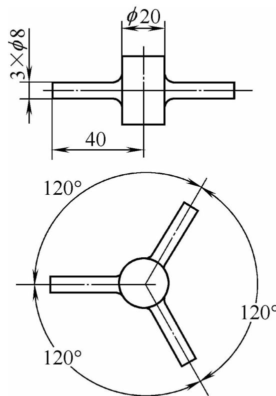


图 1-21　径向离心挤压铝合金零件

（6）斜向挤压　挤压时，金属的流动方向倾斜或弯曲于凸模的运动方向。图 1-23 所示为斜向挤压的工作情况。斜向挤压主要用于制造具有倾斜或弯曲枝芽的各种复杂形状零件。

（7）镦挤法　变形时，金属的流动具有挤压和镦粗的特点，即一部分金属沿凸模轴向流动，另一部分金属则沿径向流动。它是冷镦与冷挤压相结合的一种成形方法，称为镦挤法。图 1-24 所示为镦挤法的工作情况。镦挤法主要用于制造大头类零件及阶梯轴类零件。图 1-25 所示的支承杆就是采用这种镦挤法加工的，先正挤再镦头部，把冷挤压与冷镦合拼在同一工序中。

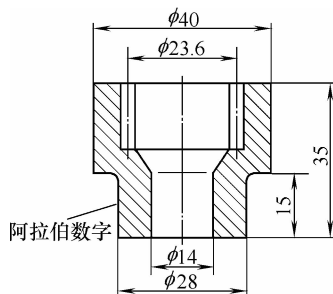


图 1-22　径向向心挤压铝合金号码盘

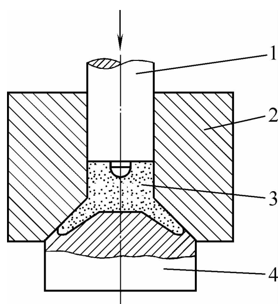


图 1-23　斜向挤压
1—凸模　2—凹模
3—挤压件　4—凹模镶块

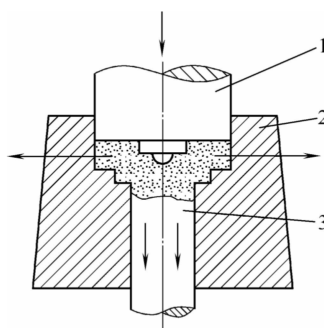


图 1-24　镦挤法
1—凸模　2—凹模　3—挤压件

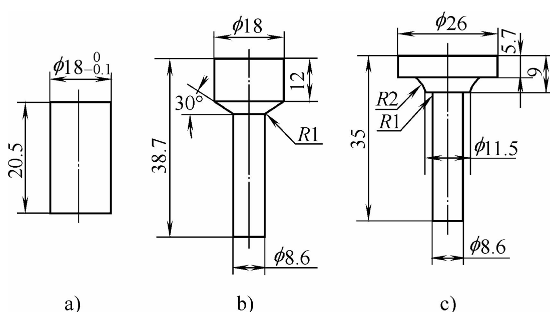


图 1-25　支承杆镦挤
a）毛坯　b）挤压　c）镦粗

2. 按金属流动速度分类

根据金属坯料充填模具型腔的流动速度，冷挤压可分为一般速度挤压、低速挤压及高速挤压。

（1）一般速度挤压　冷挤压速度范围在 0.5 ~ 2m/s，其设备有一般压力机、肘杆压

力机、摩擦压力机及专用挤压压力机等。

（2）低速挤压　其设备有各种吨位的液压机等，其速度可达0. 01 ~0. 1m/s。

（3）高速挤压　设备的滑块速度高达6 ~20m/s，如高速锤、对击锤、空气锤等。

1.2　冷挤压的金属流动规律

为了了解各种冷挤压方法的金属流动情况，现将圆柱体毛坯切成两块，如图 1-26 所示。在其中的一块剖面上刻上 5mm ×5mm ~20mm ×20mm 的正方网格，即坐标网。将拼合面涂上润滑油，再与另一块拼合在一起，进行各种方式的挤压，就可以看到被挤毛坯内部的金属流动实际情况。

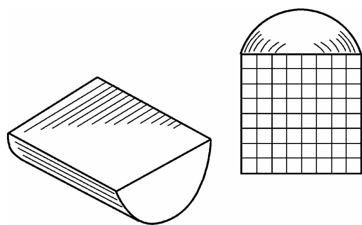


图 1-26　毛坯上的坐标网

1. 正挤压实心件的金属流动情况

正挤压实心件的金属流动情况如图 1-27 所示，其特征如下：

1）横向坐标线在出口处发生了较大的弯曲，且中间部分弯曲更剧烈。这是由于凹模与挤压金属表面之间存在摩擦力和凹模形状的变化，致使金属在流动时外层滞后于中层的缘故。被挤毛坯的端部横向坐标线弯曲不大。这是由于该部分金属原来就处在凹模出口附近，挤压时迅速向外挤出，受摩擦及模具形状等因素影响较小的缘故。横向坐标线的间距从挤出部分端部开始是逐渐增加的，即 $l_3 > l_2 > l_1$，说明挤出金属的纵向拉伸变形越来越大；而当达到某定值 l_5 时，间距基本上不再变化，说明此时的变形已处于稳定状态。

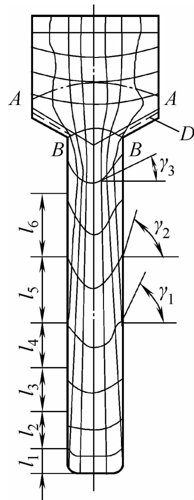


图 1-27　正挤压实心件的金属流动情况

2）纵向坐标线挤压后也发生了较大的弯曲。如把开始向内倾斜的点阵连成 *A*—*A* 线，把开始向外倾斜的点连成 *B*—*B* 线。*A*—*A* 线与 *B*—*B* 线之间所构成的区域为剧烈变形区。*A*—*A* 线以上或 *B*—*B* 线以下坐标线基本上不变化，说明这些区域的金属不发生塑性变形，只作刚性平移。

3）在凹模出口转角 *D* 处的金属，在挤压过程中不参与流动，称为金属死区。

4）正方形网格经过出口处以后，变成了平行四边形。这说明金属除发生拉伸变形以外，还有剪切变形。越接近外层剪切角越大，即 $\gamma_2 > \gamma_3$。这是由于外层金属受到摩擦阻力的影响较大，以及模具几何形状的影响，使得内外层金属流动存在着较大差异的缘故。刚开始挤出端部剪切角较小，以后逐渐增大，即 $\gamma_2 > \gamma_1$。这是由于开始挤压时，受摩擦影响较小的缘故。当进入稳定变形区以后，相对应处的剪切角保持不变。

从上述分析可见，正挤压实心件的变形特点是：金属进入 *A*—*A* 线至 *B*—*B* 线之间的区域时才发生变形，此区称为剧烈变形区。进入此区以前或离开此区以后，金属几乎

不变形，可以认为是刚性平移。在变形区内，金属流动是不均匀的，中心部分流动快，外层流动慢。当进入稳定变形阶段以后，不均匀变形程度是相同的。在凹模转角处会产生程度不同的金属死区。

2. 正挤压空心件的金属流动情况

空心件正挤压过程如图 1-28 所示。这时除受凹模工作表面的摩擦影响以外，还受到芯棒表面摩擦的影响，因而毛坯上的坐标横线变为向后弯曲的曲线，不再产生剧烈流动的中心区域。这说明正挤压空心件的金属流动比正挤压实心件均匀。在正常情况下，剧烈变形区总是集中在凹模锥孔附近不大的高度上，金属在进入变形区以前或离开变形区以后，不发生塑性变形，只作刚性平移。

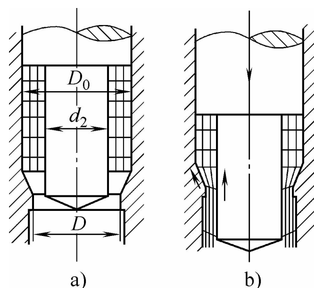


图 1-28　空心件正挤压过程
a）挤压前　b）挤压中

3. 反挤压杯形件的金属流动情况

用实心毛坯反挤压杯形零件时，挤压变形各阶段的金属流动情况如图 1-29 所示。图 1-29a 表示挤压变形之前的位置。图 1-29b 表示高度大于直径的毛坯进入稳定变形状态时的变形情况。此时可将毛坯内部的变形情况分为三个区域：*A* 区为金属死区，它紧贴着凸模端面，呈倒锥形。锥形大小随凸模端面与毛坯间的摩擦力大小而变化。这部分金属基本上不产生变形。*B* 区为剧烈变形区，毛坯金属在这个区域内产生剧烈的流动，该区的轴向界限大约为（0.1～0.2）d_1（d_1 为反挤压凸模直径）。当凸模下行到毛坯底部高度大于此界限尺寸时，尽管变形区内的金属产生了强烈的流动，而底部的一部分金属仍保持原状，此时仍处于稳定变形状态。但当凸模再继续往下运动，毛坯残余厚度小于此界限尺寸时，在此剩余厚度内的全部金属材料均参与塑性流动，成为如图 1-29c 所示的非稳定变形状态。*D* 为死区，当底厚过薄时，塑性差的金属便会产生环形脱落。*C* 区为刚性平移区，强烈变形区的金属流动至形成杯壁后，就不再变形了，而是以刚体平移的形式往上运动，该运动一直延续到凸模停止工作时为止。

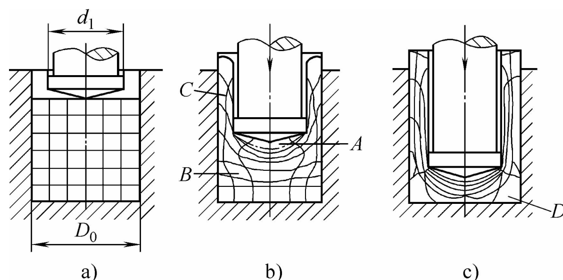


图 1-29　杯形件反挤压的金属流动情况
a）变形前　b）变形中　c）变形后

4. 复合挤压时的金属流动情况

复合挤压时的金属流动情况如图 1-30 所示。在变形区内，有向不同出口流动的区

域边界，即分流面。由于受模具结构、零件形状以及外摩擦等因素的影响，分流面不能用简单的方法来决定。图 1-30a 为上下对称形状的实心件的复合挤压（杆-杆型复合挤压），由于金属向上流动所受到的阻力比向下流动所受到的阻力大，因此向下流动的体积较多。图 1-30b 为上下对称形状的双杯类复合挤压（杯-杯型复合挤压），且又是在双动冷挤压压力机上进行加工的，因此金属材料均匀地向上和向下流动，分流面在中间对称面上。图 1-30c 为杯-杆件复合挤压，上部金属材料的流动情况与杯形件反挤压相似，下部与实心件正挤压相似。

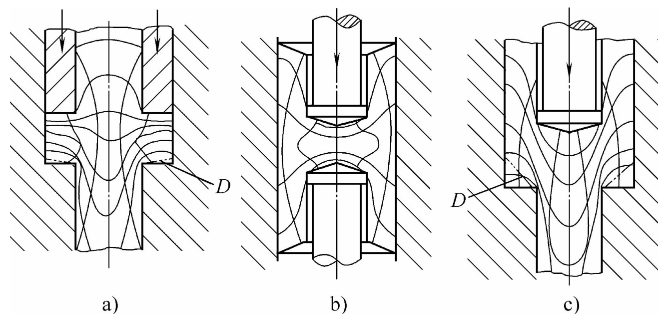


图 1-30　复合挤压时的金属流动情况

a）杆-杆型　b）杯-杯型　c）杯-杆型

D—变形死区

1.3　化学成分和组织状态对冷挤压变形的影响

化学成分对冷挤压变形的影响，一般是通过形成不同的组织状态来体现的。即使是同一种化学成分的材料，当组织状态不同时，对冷挤压变形的影响也可能有较大的差异。因此，研究化学成分对冷挤压变形的影响，应将化学成分与组织状态联系起来考虑。为了分析问题方便起见，分别研究一下钢和有色金属中单个元素的性质及其对冷挤压变形的影响。

1.3.1　化学成分对冷挤压变形的影响

1. 钢中化学成分的影响

（1）碳　随着碳含量的增加，钢在室温状态的组织由铁素体 + 珠光体变为珠光体 + 渗碳体，它的屈服强度、抗拉强度及硬度均有升高，变形抗力增加，而塑性下降。

（2）锰　锰在钢中的作用是消除硫的危害性。钢中的锰与硫化合生成硫化锰以消除硫化铁的热脆现象。由于锰的存在，钢材的屈服强度与抗拉强度有所提高，而塑性有所降低。锰含量对钢材抗拉强度的影响如图 1-31 所示。钢材中的锰含量越高，冷挤压所需的挤压力越大。

（3）硅　对碳钢来说，硅与锰同样是冶炼时脱氧剂的残留物。硅含量对钢材抗拉强度的影响，见图 1-31。硅含量过大，会使碳含量很低的钢材也变得又硬又脆，使冷挤压

性能降低。

（4）其他合金元素　钼、镍、钒、钨、铬等合金元素对钢材力学性能的影响，见图1-31。这些合金元素对金属力学性能的影响远不及碳元素。一般来讲，随着钢中合金元素含量的增加，强度指标随之增加，钢材的可挤压性能便随之降低。

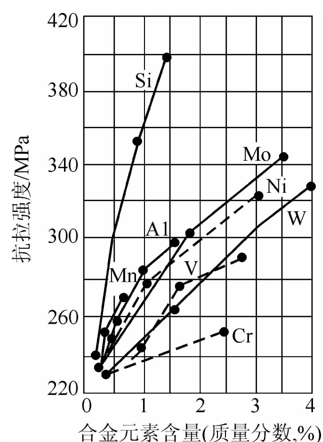


图 1-31　合金元素含量对钢材抗拉强度的影响

（5）硫　硫含量对钢的室温强度虽无重大影响，但硫化物的存在会在很大程度上影响钢材的组织结构，促使带状组织的产生而降低塑性与冷变形性能。一般冷挤压钢材的硫含量 w(S)应小于0.035%。

（6）磷　磷溶于铁素体内会显著降低钢材的塑性，提高其强度和硬度，即产生冷脆现象。当磷含量 w(P)超过0.1%时，影响尤为显著。此外，碳含量越高，则磷的不利影响也越大。磷还能促使钢材产生强烈的加工硬化，并促使时效敏感性的发生，还会引起剧烈的偏析现象。因此，冷挤压所用钢材的磷含量应当越少越好，一般认为磷含量 w(P)最好低于0.035%。

（7）氧、氮、氢　这些都是钢中常见的气体元素。氧在钢中固溶很少，主要是以 FeO、Al_2O_3 和 SiO_2 等夹杂的形式存在，这些夹杂以杂乱、零散的点状分布于晶界上。氧在钢中不论形成固溶体还是夹杂物，都使钢的塑性降低，而以夹杂物形式存在时尤为严重。氮在钢中除了少量固溶外，皆以氮化物形式存在，其使钢变脆，还会使钢强度增加，塑性降低。因此，氮含量应尽可能低，一般希望 w(N) 不超过0.01%。少量氢对钢的塑性没有明显的影响。

（8）锡、铋、铅、锑、砷　这五种低熔点元素在钢中的溶解度都是很小的。在钢中没有溶解而剩余的这些元素分布于晶界上，影响极坏。

（9）稀土元素　钢中加入少量稀土元素可以改善钢的塑性。这是由于加入稀土元素可以降低钢中气体元素含量，从而减轻氧、氮等气体元素对塑性的不利影响。加入稀土元素可以细化晶粒，但是，加入量较多时，多余的稀土元素也会聚集在晶界处和其他杂质一样起着坏的作用。

2. 有色金属的冷挤压特性

（1）铝　铝是具有面心立方晶格的金属。在室温下进行塑性变形时，它沿着晶格中原子排列最密的晶面和晶向优先发生滑移，即沿着晶格中的八面体面和对角线方向发生滑移。图1-32a所示为面心立方晶格中的八面体面。对于一个晶胞来说，这种面共有八个，但因分别为四对互相平行的面，所以实际上只算四个。图1-32b所示为八面体的一个面，面上沿着原子排列最密的方向有六个。但因同一直线上两个相反的方向，实际上只能算一个。因此，一个八面体的面只有三个滑移方向。滑移面数目与滑移方向数目的乘积称为滑移系数目。一种金属的滑移系数目越多，表示金属塑性变形越好，越容易发生滑移。对于面心立方晶格的铝来说，滑移系应为4×3个=12个，与密排六方晶格的

镁相比，镁的滑移系只有 1×3 个 =3 个。由此可见，铝具有很高的塑性。

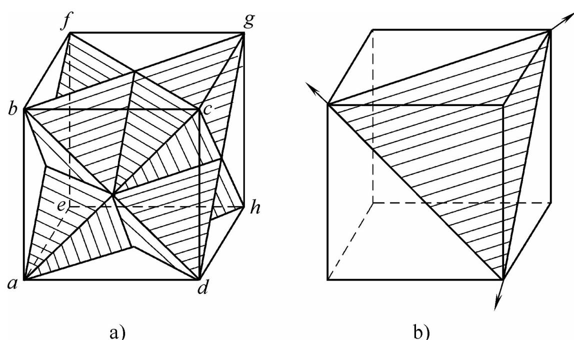


图 1-32　铝的面心立方晶格

a）八面体面　b）滑移方向

纯铝并不是绝对纯的，工业上使用的纯铝，常含有 Fe、Si 等杂质。Fe 溶解在 Al 中的量很少，室温中，仅溶入 0.002%（质量分数），杂质 Fe 主要和 Al 形成了金属化合物 $FeAl_3$，它是硬脆的针状化合物；Si 溶解在 Al 中的量比 Fe 要多一些，室温中可溶入 0.05%（质量分数），多余的 Si 则单独存在于 Al 中，通常称为“自由硅”。此外，Al 中同时存在杂质 Fe 和 Si 时，Fe、Si 和 Al 还会形成更复杂的化合物，这些性脆的化合物对纯铝的塑性和变形抗力皆有较大的影响。因此，工业上用的纯铝对于 Fe、Si 等杂质的含量，都应受到严格的控制。冷挤压用的纯铝含 Fe、Si 杂质总和一般应限制在 0.6%（质量分数）以下。

（2）镁　镁是具有密排六方晶格的金属，如图 1-33a 所示。镁塑性变形时的主要滑移面及滑移方向如图 1-33b 所示。原子排列最密的晶面是基面 {0001}，滑移方向 *OA*、*OC*、*OE* 三个方向。在室温下变形只有基面产生滑移，其滑移系数目为 1×3 个 =3 个，与 Al 相比，镁的塑性是很低的。因此，冷挤压镁和镁合金皆是比较困难的，但当温度升高到超过 200°C 以后，塑性便得到了较大的提高。Mg 中常见的杂质有：Al、Fe、Si、Na、K、Cu 和 Ni 等元素。Al 作为夹杂物进入固溶体，对 Mg 的组织和性能无显著影响。Fe、Na 和 K 不溶于固态的 Mg 中，而呈夹杂物的形式分布于晶界上，Si 和 Mg 形成脆性化合物 Mg_2Si，呈薄网状或针状分布于晶界上，皆对 Mg 的塑性有显著影响。Cu 和 Ni 同样不溶于固态的 Mg 中，而和 Mg 形成化合物，分布在 Mg 的晶界上，对 Mg 的塑性影响不大，但却显著降低抗腐蚀能力。因此，Mg 中应限制这些杂质的含量。

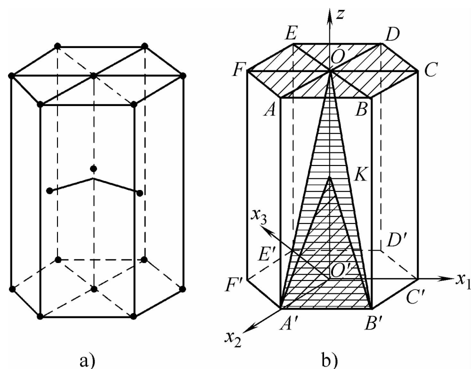


图 1-33　镁的密排六方晶格

a）密排六方晶格　b）滑移面及滑移方向

ABCDEF {0001} —基面

（3）铜　铜是具有面心立方晶格的金属，无同素异型转变，因此与 Al 一样具有较高的塑性，适合于进行冷挤压加工。Cu 中存在的杂质对其塑性成形工艺性能影响较大。根据杂质和 Cu 之间相互作用的性质，可将其大致上分为三类：①能够溶解于铜中的元素，如 Al、Fe、Ni、Sn、Zn 等，当其含量较少时，对 Cu 的塑性影响不大，但却提高了变形抗力；②不溶于铜中杂质，如 Pb、Bi 等，与 Cu 生成易溶共晶体分布于 Cu 的晶粒边界上，降低塑性，因此，应限制 $w(\mathrm{Pb})$ 不超过 0.003% ~0.005%，$w(\mathrm{Bi})$ 不超过 0.002% ~0.005%；③与 Cu 生成脆性化合物的元素，如 S、O 等，皆以共晶体形式分布于 Cu 的晶粒晶界上，尽管共晶体的熔化温度并不低，但由于其中所含的化合物很脆，对铜的性能有一定影响。

（4）钛　钛是具有密排六方晶格的金属，但与具有密排六方晶格的 Mg、Zn 相比，Ti 的滑移系数目较多，如图 1-34 所示。Ti 在室温下可能的滑移面，除了密排六方晶格的基面参加滑移之外，A 面和 B 面也是可能的滑移面。原因在于：Ti 与 Mg 的点阵常数之比 c/a 不同，理想的密排六方晶格的 $c/a=1.633$，而 Mg 的 c/a 则大于 1.633，此时只有密排六方晶格的基面才是唯一的原子排列最密的面，也就是说只有一个滑移面。Ti 的 $c/a=1.587$，比理想的 c/a 小 2.9%。这说明基面之间的距离缩小了，此时只能由基面上的原子之间的距离加大才有可能达到。基面上的原子密度减小了，而图 1-34 所示的 A、B 面上的原子密度则增大，这样，Ti 中密排六方晶格的基面，便不是唯一的滑移面，而 A、B 面也成为可能的滑移面，因此，Ti 的塑性较高。但纯钛的强度低，限制了它在工业上的应用。为了使 Ti 强化，扩大其使用范围，可在 Ti 中加入各种合金元素，从而得到各种性质的钛合金。工业纯钛中，含有微量 C、Si、Fe、Al、N、Mn 等杂质，这些杂质的存在，对 Ti 的力学性能有一定的影响。C、N、O 元素对 Ti 的力学性能影响尤为显著，因为这三者都与 Ti 形成间隙固溶体，使原子点阵发生严重歪扭，使 Ti 的硬度、变形抗力增大，塑性下降。

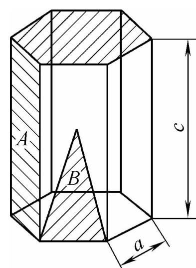


图 1-34　钛在室温下的滑移面

1.3.2　组织状态对冷挤压变形的影响

1. 晶格类型的影响

面心立方晶格金属（如 Al、Cu、Ni 等）的塑性最好，体心立方晶格金属（如 V、W、Mo 等）的塑性次之，密排六方晶格金属（如 Mg、Zn、Cd 等）的塑性最差。这是由于密排六方晶格的滑移系较少，只有 3 个，而面心立方晶格及体心立方晶格的滑移系共有 12 个。不过又由于面心立方晶格在同一滑移面上的滑移方向有 3 个，而体心立方晶格只有 2 个。因此，面心立方晶格的塑性比体心立方晶格的塑性更好一些。当然，金属塑性的好坏，不只与基体金属的滑移系多少有关，还与其他很多因素有关。

2. 晶粒大小的影响

晶粒越小塑性越高，变形抗力越大。这是由于晶粒越小，在一定体积内的晶粒数目越多，则在同样的变形量下，变形分散在更多的晶粒内进行，每个晶粒内的变形比较均

匀，而不致产生过分应力集中的现象，因此，小晶粒塑性高。晶粒越小，晶界相对较多，因为晶界强度高于晶内，所以小晶粒的变形抗力也较大。晶粒大小的均匀程度对塑性也有影响，晶粒大小相差悬殊的多晶体，塑性较差。这是由于大小晶粒变形的难易程度不同，造成变形和应力分布很不均匀，势必使塑性降低。

3. 固溶体性质的影响

加入合金元素以单相固溶体形式存在时，金属的塑性较高；有过剩相存在时，一般说来塑性较低。

固溶体中合金元素的含量越高，则变形抗力也越高。这是由于无论是间隙固溶体，还是置换固溶体，加入合金元素都会引起晶格歪扭，加入的量越多，引起晶格的歪扭程度越严重，变形抗力也就越大。

4. 第二相性质的影响

当合金以多相混合物构成时，除了基体金属对冷挤压变形有很大影响以外，第二相的性质、形状、大小、数量和分布情况，对冷挤压变形的影响也很大。

1）当第二相为低熔点物质且位于晶界处时，金属的塑性较低；当第二相虽是低熔点物质，但以存在于晶内为主时，仍可以获得较好的塑性。

2）当第二相为硬脆的化合物（碳化物、氮化物及金属间化合物），且这些化合物在晶界上形成网状分布时，由于塑性相的晶粒被脆性相分割包围，从而使其变形能力无从发挥，晶界区域的应力集中也难以松弛，合金的塑性将大大下降，经很小量变形就会在脆性相的网络处产生断裂。此时，脆性相的数量越多，合金的塑性就越差。

3）当第二相为硬脆的化合物且晶内呈片状分布时，由于这种分布对基体金属的塑性比呈网状分布要好一些，而且随着细化程度增加，可使基体金属的强度增大，塑性也比粗片状分布相对地好一些。

4）当第二相呈细质点弥散分布时，基体金属的塑性下降得最小。此时由于位错或其他缺陷的运动受到更大的阻碍，则可能显著提高合金的强度，即提高变形抗力。

1.4　应力与应变对变形的影响

冷挤压时的应力与应变是冷挤压变形力学的基础。搞清楚不同挤压方法的应力与应变关系，不仅有助于正确分析冷挤压的成形问题，而且还可以正确分析挤压件的组织和性能，正确计算设备吨位，合理设计模具结构。本节主要从塑性变形角度去分析冷挤压中的应力与应变关系，着重于在冷挤压中的实际应用，而略去塑性力学中繁琐的推证。

1.4.1　应力与应变状态的定性分析

挤压变形时，变形区内任一点的应力与应变状态，皆可用主应力简图和主应变简图来表示。众所周知，挤压变形区内的基本应力状态皆为三向压应力。但是，在整个变形区的不同区域中，主应力与主应变的顺序和种类是不相同的。下面分区研究一下正、反挤压的应力与应变状态。

正挤压实心件和反挤压杯形件时，如果摩擦阻力很小，且毛坯的长径比也较小时，可分别把变形区分为两个不同的区域，如图 1-35 所示。

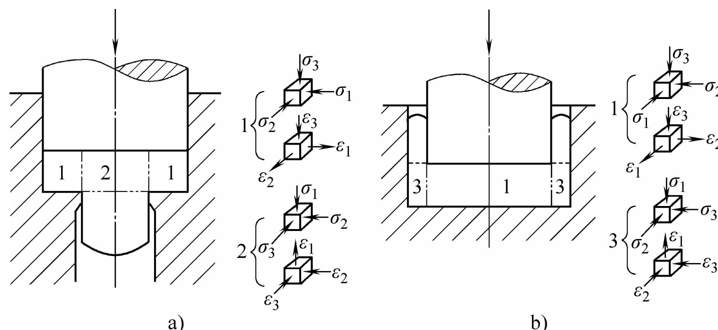


图 1-35　挤压变形区内的应力应变状态

a）正挤压　b）反挤压

区域 1 是直接受压缩区，这部分金属之所以变形是直接受到凸模压力作用的结果。区域 2、3 是间接受压区，这个区的金属之所以变形，不是凸模直接加压，而是受到区域 1 金属压力作用的结果。很显然，这两个区域的主应力和主应变的顺序是不同的。

实心件正挤压的区域 1 与环形件毛坯在封闭模中的镦粗变形相似，其主应力与主应变的顺序是：径向应力 σ_r 为最大主应力 σ_1（代数值最大，绝对值最小），径向应变 ε_r 为最大主应变 ε_1（拉应变）；轴向应力 σ_z 为最小主应力 σ_3（代数值最小，绝对值最大），轴向应变 ε_z 为最小主应变 ε_3（压应变）；切向应力 σ_θ 为中间主应力 σ_2，切向应变 ε_θ 为中间主应变 ε_2。而区域 2 的变形却与摔子摔圆的一个圆棒相似，其主应力、主应变的顺序是：轴向应力 σ_z 为 σ_1，轴向应变 ε_z 为 ε_1；切向应力 σ_θ 为 σ_3，切向应变 ε_θ 为 ε_3；径向应力 σ_r、应变 ε_r 近似与切向应力 σ_θ、应变 ε_θ 相等，为中间主应力 σ_2、中间主应变 ε_2。

杯形件反挤压的区域 1 与圆毛坯镦粗相似，切向应力 σ_θ 为 σ_1，切向应变 ε_θ 为 ε_1；径向应力 σ_r 为 σ_2，径向应变 ε_r 为 ε_2；轴向应力 σ_z 为 σ_3，轴向应变 ε_z 为 σ_3。而区域 3 与受内压的圆筒相似，轴向应力 σ_z 为 σ_1，轴向应变 ε_z 为 ε_1；切向应力 σ_θ 为 σ_2，切向应变 ε_θ 为 ε_2；径向应力 σ_r 为 σ_3，径向应变 ε_r 为 ε_3。

上述正挤压实心件和反挤压杯形件的情况也可参照图 1-36 所示的主应力分布曲线，作出这两个区域的主应力简图。

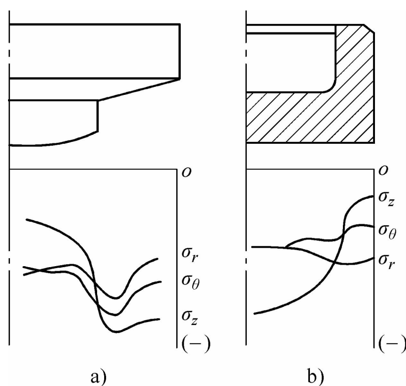


图 1-36　冷挤压变形时的主应力分布曲线

a）正挤压　b）反挤压

1.4.2　应力与应变的关系

冷挤压变形的主应力与相对应变之间的关系可以用应变比例定律来表示。所谓应变比例定律就是指相对应变与相应的应力偏量成比例。

设从挤压变形体中任取一单元体，它承受三向压应力 σ_1、σ_2、σ_3 的作用，如图1-37所示。变形前的尺寸为 l_1、l_2、l_3，变形后尺寸的微量变化为 Δl_1、Δl_2、Δl_3（正号表示伸长，负号表示压缩），则毛坯的相对应变为

$$\left.\begin{aligned}\delta_1 &= \frac{\Delta l_1}{l_1}\\ \delta_2 &= \frac{\Delta l_2}{l_2}\\ \delta_3 &= \frac{\Delta l_3}{l_3}\end{aligned}\right\} \tag{1-1}$$

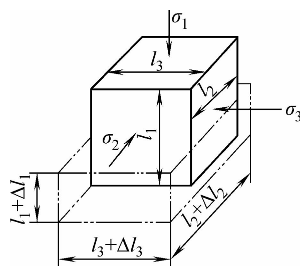


图1-37　三向压应力作用下的单元体

这三个方向的应力与应变关系可用下式表示

$$\frac{\delta_1}{\sigma_1-\sigma_m}=\frac{\delta_2}{\sigma_2-\sigma_m}=\frac{\delta_3}{\sigma_3-\sigma_m}=\lambda>0 \tag{1-2}$$

式中　σ_m——平均应力，$\sigma_m=\frac{1}{3}(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)$；

λ——正值比例常数。

式（1-2）就是应变比例定律方程式。该式没有反映加载过程的经历，对于加载过程中应力比值不恒定的过程，严格说来是不适用的，仅适用于简单加载的情况。但是由于该式运算简便，因此，可用来近似表示冷挤压中的应力与应变关系。

由应变比例定律可以得出如下一些关系。

1. 三种典型压缩变形

（1）单向压缩（见图1-38a）　假设 $\sigma_3<\sigma_1=\sigma_2=0$，则由式（1-2）可得

$$\delta_1=\delta_2=-\frac{1}{2}\delta_3 \tag{1-3}$$

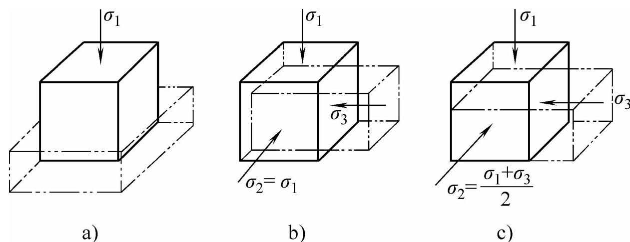


图1-38　三种典型压缩变形

a）单向压缩　b）等双向压缩　c）平面应变压缩

式（1-3）表明：只在材料的一个方向上加压时，则在此方向上受到压缩应变，而此压缩应变又各以其半数向横向伸长。例如，无摩擦的镦挤变形就属于此种变形情况。

（2）等双向压缩（见图 1-38b）　假设 $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ 时，则由式（1-2）可得

$$\delta_3 = -2\delta_1 = -2\delta_2 \tag{1-4}$$

式（1-4）表明：当材料的三个方向上受压时，其中两向压力代数值相等且大于另一向压力，则在此两相等压力 σ_1、σ_2 方向上受到相等的压缩应变，而又以此压缩应变的两倍向第三方向伸长。例如，实心件正挤压变形区中的 2 区（见图 1-35a）就是属于此种变形情况。

（3）平面应变压缩（见图 1-38c）　假设 $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$，则由式（1-2）可得

$$\delta_2 = 0, \delta_3 = -\delta_1 \tag{1-5}$$

式（1-5）表明：当在金属材料的三个方向上加压时，其中一向压应力 σ_2 等于另两向压应力 σ_1、σ_3 的平均值。此时在 σ_2 方向上不产生变形，故为平面应变状态，σ_1 方向上的压缩应变恰好等于 σ_3 方向上的伸长应变。例如，为了便于对实际的挤压变形进行分析和计算，常把属于轴对称问题的挤压变形简化为长板件挤压，简化后的挤压变形就是属于此平面应变压缩。

2. 体积不变方程式

把式（1-2）的分子和分母分别加起来可得

$$\frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - 3\sigma_m} = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{0} = \frac{\delta_1}{\sigma_1 - \sigma_m}$$

为使此分数不变成无限大，必须使下式成立：

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 0 \tag{1-6}$$

式（1-6）为体积不变方程式。它表示冷挤压变形前后的体积是相等的，故又称为体积不变定律。它是冷挤压中计算原材料体积的理论依据。

3. 应变符号与相对应的应力偏量符号

现以正挤压变形区中的 2 区（见图 1-35a）为例来说明。设轴向压应力 $\sigma_1 = -50\text{MPa}$，径向压应力 σ_2 = 切向压应力 $\sigma_3 = -80\text{MPa}$，则主应力简图如图 1-39a 所示，平均应力 $\sigma_m = \frac{1}{3}(-50-80-80)\text{MPa} = -70\text{MPa}$，如图 1-39b 所示，则应力偏量大小为

$$\sigma_1 - \sigma_m = [-50-(-70)]\text{MPa} = 20\text{MPa}$$
$$\sigma_2 - \sigma_m = [-80-(-70)]\text{MPa} = -10\text{MPa}$$
$$\sigma_3 - \sigma_m = [-80-(-70)]\text{MPa} = -10\text{MPa}$$

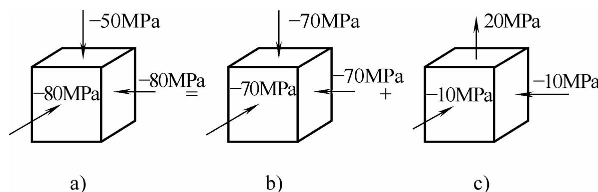


图 1-39　正挤压 2 区主应力简图

如图 1-39c 所示。对比图 1-35a 中 2 区的主应变简图的符号与图 1-39c 的符号，可以看出应变符号与应力偏量符号是相同的。

4. 应变顺序与应力顺序对应关系

因为 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$，由式（1-2）得

$$\delta_1 > \delta_2 > \delta_3 \tag{1-7}$$

式（1-7）表明：与最大主应力方向相对应的应变 δ_1 为最大，与最小主应力方向相对应的应变 δ_3 为最小，而与中间主应力方向相对应的应变 δ_2 介于 δ_1 与 δ_3 之间。

应变的大小和方向，既应满足式（1-6），又应满足式（1-7），同时满足这两式的条件是：应变的符号有正有负，沿着最大主应力 σ_1 的主应变 δ_1 必然是正应变（拉应变），沿着最小主应力 σ_3 的主应变 δ_3 必然是负应变（压应变）。至于中间主应力 σ_2 所对应的主应变 δ_2 是拉应变还是压应变，要看 σ_2 接近于 σ_1 还是 σ_3 而定。如果 σ_2 接近于 σ_1，则 δ_2 是拉应变；如果 σ_2 接近于 σ_3，则 δ_2 是压应变。如何判断 σ_2 接近于 σ_1，还是 σ_3 呢？可根据图 1-40 所示的应力与应变数轴来确定。

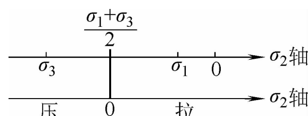


图 1-40　应变 δ_2 与应力 σ_2 符号对应关系

由图 1-40 可知：当 $\sigma_2 > \dfrac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$时，$\delta_2$ 为拉应变；当 $\sigma_2 < \dfrac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$时，$\delta_2$ 为压应变；当 $\sigma_2 = \dfrac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$时，$\delta_2 = 0$ 为平面应变状态。

1.4.3　变形力学条件对变形的影响

变形力学条件是指应力与应变状态，冷挤压时的变形力学条件是指冷挤压时的基本应力与应变状态。应着重分析一下在冷挤压的应力与应变状态作用下，为什么既提高了塑性，也提高了变形抗力，以便于在生产实际中采用一些提高塑性、降低变形抗力的有效方法。

1. 应力状态对冷挤压变形的影响

（1）对塑性的影响　应力状态的种类对冷挤压材料塑性的影响是很大的。在金属塑性变形加工中，变形区的金属受拉应力的影响越小，受压应力的影响越大，则塑性越高；相反，若受拉应力的影响越大，受压应力的影响越小，则塑性越差。从上述分析可知，冷挤压的基本应力状态是三向压应力状态，因此，冷挤压加工时材料的塑性是很高的。例如，生产薄壁筒形件，可以采用反挤压加工，也可采用拉深加工，前者变形量比后者大得多，这就是由于冷挤压加工时材料的塑性比拉深加工高得多的缘故。

从上述分析可知，挤压加工的基本应力状态是三向压应力状态。因此，被挤压材料的塑性可以大大提高，其原因可以归纳为以下几方面。

1）三向压应力状态能遏止晶间相对移动，使晶间变形更加困难。这是因为晶间变形在没有再结晶和溶解沉积等修复机构时，会引起晶间破坏的积累，从而引起多晶体的迅速断裂。

2）三向压应力状态能促使由于塑性变形和其他原因而破坏了晶内和晶间的联系得到恢复。这样，随着明显的三向压应力的增加，不仅使金属变得致密，而且还能使各种显微裂纹，甚至宏观破坏（组织缺陷）也可得到修复。

3）三向压应力状态能使金属内某些夹杂物的危害程度大为减少。金属内部夹杂物的存在，正如内部空洞一样，往往会形成应力集中。在压应力的作用下，使空洞减小的危害性明显降低。

4）三向压应力状态可以完全抵消或大大减小由于不均匀变形而引起的附加拉应力，因而减轻了附加拉应力所造成的破坏作用。

冷挤压变形区的基本应力状态虽然属于三向压应力状态，但是有时仍不能通过冷挤压方法来加工一些低塑性材料。为了扩大冷挤压工艺的应用范围，在生产实际中常采用增加三向压应力强烈程度的有效办法，来进一步提高金属材料的塑性，其主要措施有如下三种：

第一，采用直径稍大的毛坯进行挤压，以加大冷挤压件的变形程度，从而增加各向压应力，提高被挤毛坯的塑性。

第二，采用附加推力的方法进行挤压，如图 1-41 所示。在挤压过程中，零件挤出的顶端另外再加一个反向推力 P'，这能进一步增加三向不均匀压缩状态，提高材料的塑性。

第三，采用在毛坯的外层加上包套的办法进行挤压，如图 1-42 所示。它是把塑性较差的材料置于用高塑性材料制成的包套中，然后一起进行冷挤压加工。这样，一方面可以减小不均匀变形引起的附加拉应力；另一方面也起到了增加侧向压应力的作用。应该指出的是，包套材料的厚薄必须选择合适，否则会因外套变形大，对芯材产生很大的附加拉应力，而引起拉裂。

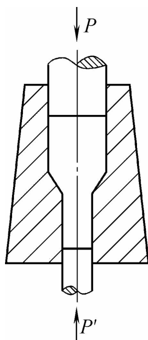


图 1-41　附加反向推力的挤压

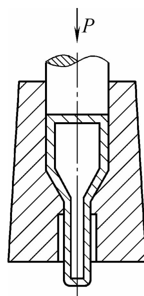


图 1-42　采用包套的冷挤压

（2）对变形抗力的影响　三向压应力状态对变形抗力的影响是很大的。例如，用冷挤压和冷拉拔方法生产同一种退火纯铜材料相同尺寸的工件，如图 1-43 所示。测得冷挤压所需的总压力为 35. 3kN，单位挤压力为 450MPa；冷拉拔所需总压力为 10. 5kN，单位拉深力为 220MPa。冷挤压的单位压力约是冷拉拔的单位拉深力的 2 倍。这说明像冷

挤压这样的塑性成形工艺，由于受三向压应力的作用，会增大材料的变形抗力。

上述这种现象可从塑性条件得到解释。例如，能量不变塑性条件$(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2=6k^2$（$k$ 为屈服剪应力）是在三向压应力状态下推导出来的。该式告知我们必须使三向压应力之差的平方和达到 $6k^2$，金属材料才开始产生塑性变形。而“两压一拉”应力状态（拉拔）的塑性条件应为$(\sigma_1+\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3+\sigma_1)^2=6k^2$，此式左边三项只有一项是应力之差的平方，而有两项为应力之和的平方。很显然，“两压一拉”的应力状态（拉拔）容易使左边三项数值之和达到 $6k^2$，这就是成形相同零件时，冷挤压的变形抗力大于拉拔的原因。

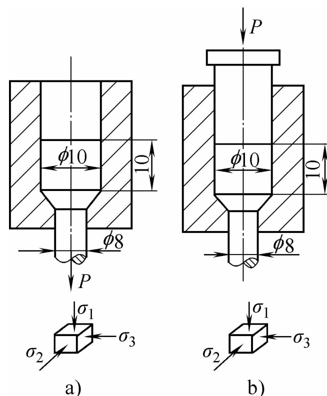


图 1-43　不同应力状态对变形抗力的影响
a）拉拔　b）挤压

2. 应变状态对冷挤压变形的影响

从主应变简图可知，应变状态对冷挤压变形有很大的影响。压缩变形有利于塑性的发挥，而拉伸变形则有损于塑性。主应变图中压应变分量越多，对于充分发挥材料的塑性越有利。按此原则可将主应变简图对塑性的影响排列为：两向压缩一向拉伸的主应变简图（挤压）最有利于塑性的发挥；一向压缩一向拉伸主应变简图（长毛坯压缩）次之；两向拉伸一向压缩主应变简图（薄板轧制）最差。

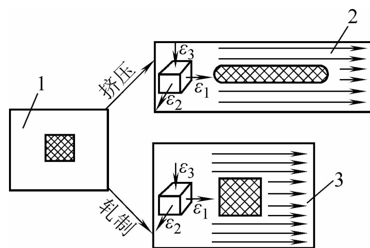


图 1-44　主应变图对材料中缺陷的影响
1—未变形的情况　2—挤压变形后的情况
3—薄板轧制变形后的情况

“两压一拉”主应变简图可以充分发挥材料的塑性，“两拉一压”主应变简图有损于塑性。其原因可通过实例作如下解释：如图 1-44 所示，在实际的变形体内都不可避免的或多或少存在着各种缺陷，如气孔、夹杂、缩孔、空洞等。这些缺陷在“两拉一压”的主应变简图（薄板轧制）的影响下，就可能向两个方向扩大而暴露弱点，使点缺陷变为面缺陷，因而降低了塑性；而在“两压一拉”主应变简图（挤压）情况下，面缺陷可被压下而变成线缺陷，使其危害性大为减少，从而提高了塑性。

1.5　冷挤压过程中产生的现象

1.5.1　加工硬化

金属材料在低于再结晶温度以下，进行冷挤压变形时，随着变形程度的增加，所有的强度指标（弹性极限、比例极限、蠕变强度及抗拉强度等）以及硬度不断地提高，

塑性指标（伸长率、断面收缩率及冲击韧度等）相应地降低，这种现象称为加工硬化或形变硬化、冷作硬化。特征表现是：如要继续进行塑性变形，应力必须提高。

冷挤压就是利用“加工硬化”来强化金属的，这是冷挤压加工越来越得到广泛应用的原因之一。加工硬化与合金化、热处理一样，都是改变金属性质的重要方法，特别是对那些采用热处理方法无法使其强化的无相变的金属材料，加工硬化就成了唯一的强化手段。

1. 影响加工硬化的因素

（1）基体元素的晶格类型　构成金属的基体元素不同，对冷挤压加工硬化敏感性有很大差别。图 1-45 所示为不同金属的应力与相对应变的关系。图 1-45 中曲线斜率可以表示金属形变硬化能力的大小。由该图可知，Ni 的加工硬化敏感性最大，Al 最小，Fe、Cu 居中。

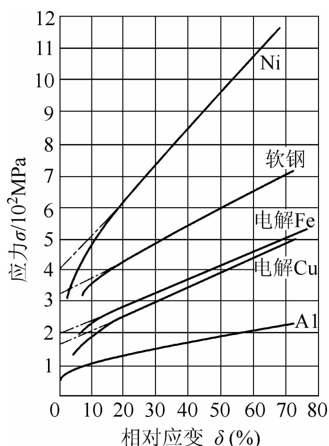


图 1-45　几种金属的应力与相对应变关系

面心立方晶格金属的加工硬化能力比其他晶格金属大，而以密排六方晶格金属的形变硬化能力为最小。其原因在于：加工硬化是由于晶格结构规则性的破坏所引起的，塑性变形时，晶体点阵会发生畸变，畸变的晶体点阵表现有较大的变形阻力，而阻力大小又取决于畸变的程度。面心立方晶格金属具有较多的滑移系，塑性变形可同时在几个滑移系中进行，产生各种位错割阶，使位错继续移动的阻力增加；位错相交割后不能移动的位错还会造成位错塞积，这样就增加了晶格的畸变程度，因此加工硬化能力表现最大。

（2）固溶体合金化浓度　固溶体合金化在一定浓度范围内，随浓度增加，加工硬化也增加；当达到某一浓度以后，再增加合金浓度，加工硬化增加不大。图 1-46 所示为各种碳钢的应力与相对应变关系。从图 1-45 中曲线斜率可知，由 Fe 变成 $w(\mathrm{C})$ 为 0.1% 的碳钢时，加工硬化能力提高很大；再进一步增加碳含量时，加工硬化虽有增加，但不明显。原因在于：固溶体合金化会发生点阵畸变。低浓度时，畸变程度随固溶体浓度的增加而增加，但由于点阵畸变有一定极限的畸变度存在，因此，当固溶体合金化浓度较大时，合金化已使点阵发生了较大的畸变，甚至接近了点阵畸变的极限程度，此时变形对畸变的进一步增加的作用就表现得很弱，也就是说对加工硬化的作用相对较小。

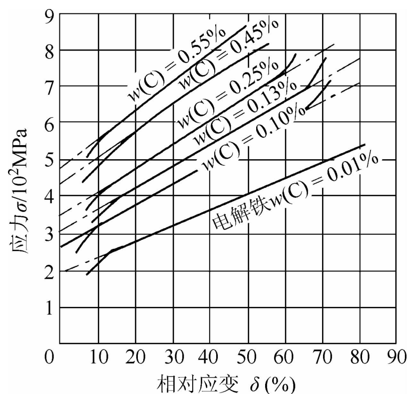


图 1-46　各种碳钢的应力与相对应变关系

（3）变形速度　同一种金属加工硬化随变形速度的增加而增加，如图 1-47 所示。这是由

于较大变形速度下的变形会同时沿着几个平面滑移，这样就使点阵的畸变程度增加了，从而使加工硬化也相应增加。

必须指出，在不同变形温度下加工硬化的影响也不同。如在冷挤压变形情况下，其影响程度就显得不大，这是由于很高的变形速度会引起显著的温度效应，这样就降低了加工硬化程度。

（4）变形温度　变形温度升高，加工硬化总是减弱的。图 1-48 为各种不同温度下，纯铝的应力与应变的关系曲线。由该图可知，随变形温度的升高，纯铝的硬化能力逐渐减小，这是由于变形的加工硬化被加热软化所消除的缘故。

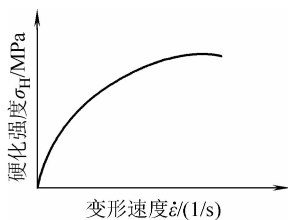


图 1-47　变形速度对硬化强度的影响

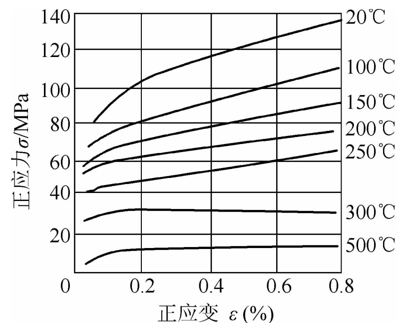


图 1-48　不同温度下纯铝的应力与应变曲线

2. 加工硬化的位错解释

冷挤压加工时，金属的变形主要是以滑移方式进行的，而滑移又都是通过位错运动进行的。一切阻碍位错移动的因素都会使滑移阻力增加，从而使金属晶体的变形抗力增大。

在滑移过程中，移动着的位错受到某些结构缺陷，如晶界、亚晶界等的阻碍而停留在晶体内部。由于同号位错之间存在着斥力，紧跟这个被阻位错移动过来的一系列同号位错将因受到斥力而在它后面堆积起来。堆积下来的同号位错越来越多，它们受到的斥力越来越大，最后，不但这些位错线不能再继续前进，而且位错的增殖过程也要停止。这种现象称为位错塞积。

显然，无论是位错塞积还是位错割阶，均会引起变形抗力的增加，也就是说金属晶体在塑性变形过程中会发生加工硬化现象。

1.5.2　热效应

1. 热效应的产生及影响因素

在冷挤压变形过程中，消耗于塑性变形功的一部分能量变成了热能。当变形速度较大时，特别是在高速挤压的情况下，热量来不及散失，被挤毛坯的温度就会明显升高，从而使其强度降低，塑性升高。这种现象称为热效应。

由于热效应的作用而引起温度的升高与下述因素有关。

（1）材料种类　被挤材料种类不同，温升也不一样。例如，冷挤压外径为 ϕ17mm

的管子，变形程度 $\varepsilon_F = 80\% \sim 95\%$，挤压速度为470mm/s，当采用不同材料冷挤压试验时，其温升情况分别为：纯铝为180～200°C；纯铜为320～380°C；黄铜为340～400°C；10、15钢为360～410°C。

（2）挤压速度　此处的挤压速度 v 是指压力机滑块的运动速度，其单位为mm/s，它与应变速度 $\dot{\varepsilon}$ 是不同的。应变速度 $\dot{\varepsilon}$ 是指单位时间内的相对压下量，单位为1/s。但两者是有联系的。例如，压力机滑块的运动速度为 v，在 Δt 时间内将高度为 H 的毛坯压下 ΔH，则此时的 $v = \Delta H / \Delta t$，而应变速度为

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\frac{\Delta H}{H}}{\Delta t} = \frac{\Delta H}{\Delta t} \times \frac{1}{H} = \frac{v}{H}$$

挤压速度不同，温升也是不一样的。当采用曲柄压力机进行冷挤压时，挤压件的温升较高，不能用手去拿刚挤好的零件；而采用一般的液压机挤压相同材料的零件时，温升就较低，有时可以用手去拿刚挤压好的零件。

2. 热效应的作用

热效应的作用可以使被挤毛坯的温度升高。因此，我们通常所说的冷挤压加工，并不真正是在室温中进行的，而是在某一温度下进行的。

热效应的作用可以使材料的变形能力得到改善，这对于冷挤压一些低塑性金属，形状比较复杂的零件，更有重要的实际意义。

为了更好地利用热效应，应特别注意热效应的作用对金属材料变形能力的影响。如何判断由于热效应的作用而使材料的温度升高，从而产生对材料变形能力的影响呢？通常是根据金属材料的塑性图来判断的。图1-49所示为碳钢的塑性图。图中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别表示塑性降低区域，1、2、3表示塑性升高区域。由该图可以看出，冷挤压碳钢最好在区域1（约200°C）进行，在此温度下的原子热振动较室温剧烈得多，因此塑性较高。如果热效应的作用正好使温升至塑性降低区域Ⅱ，此区称为“蓝脆区”。在该区内产生的某些夹杂物如氧化铁等以沉淀的形式析出，存在于晶界上，会使塑性下降。因此，冷挤压加工应避免在“蓝脆区”内进行。

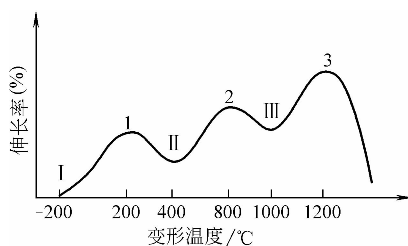


图1-49　碳钢的塑性图

从上述分析可以看出，热效应的作用可以减少变形抗力，提高塑性，这是好的一面，但也要注意它可能带来不利的一面。

1.5.3　附加应力

在金属塑性变形过程中，变形金属内部除了存在着与压力机所作用的外力相应的基本应力以外，还存在着由于毛坯内各层的不均匀变形受到变形体整体性的限制，而引起的变形金属内部各部分自相平衡的应力。这种应力称为附加应力。

冷挤压时，同样也会产生附加应力。图 1-50 所示为正挤压时产生的附加应力。此时产生附加应力的原因是：由于凹模内壁与变形金属之间存在着摩擦阻力，使得中心部分金属材料的流动速度大于外层金属的流动速度。但由于内外层金属是一个整体，流动快的金属力图使流动慢的金属快些流动，流动慢的金属又力图使流动快的金属慢些流动。这样便产生了自相平衡、相互牵制的应力，这就是附加应力。外层金属的附加应力是拉应力，习惯上称为“+”应力；与此相反，中层金属的附加应力是压应力，习惯上称为“-”应力。

就正挤压的基本应力来说，都是压应力。但由于摩擦力的作用，使金属流动产生了不均匀分布，从而在金属外层产生了不利于塑性变形的附加拉应力，如图 1-51 所示。该图定性表示了某截面上的基本应力、附加应力和工作应力的分布情况。所谓工作应力是指基本应力与附加应力的代数和。当润滑恶劣时，这个附加应力可能达到很大的数值；当被挤材料塑性较差时，该附加拉应力能使工件产生严重开裂。

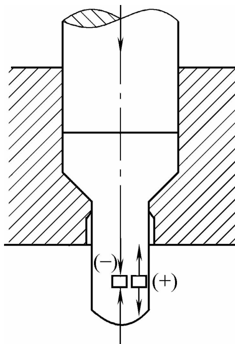


图 1-50　正挤压时产生的附加应力

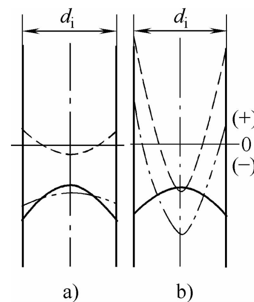


图 1-51　正挤压时毛坯某截面上的应力分布情况

a）附加应力较小时　b）附加应力较大时

——基本应力　—·—·—附加应力

-----工作应力　d_i—变形区某截面直径

从以上分析可知，附加应力是由于材料各部分变形不均而产生的，而冷挤压时的变形又往往是不均匀的，因此产生附加应力是不可避免的。

冷挤压中产生不均匀变形的主要原因有下面几点。

（1）变形金属与模具之间存在着摩擦力　由于模壁摩擦阻力的作用引起内外层金属流动不均匀，从而产生相互牵制的附加应力。

（2）各部分金属流动阻力不一致　例如，反挤压杯形件时，由于模具对中不好，往往会造成凸凹模间隙不均匀。由最小阻力定律可知，间隙小的阻力较大，间隙大的阻力较小。这就会引起金属流动不均匀，从而产生相互牵制的附加应力。

（3）变形金属的组织结构不均匀　变形金属的组织结构往往是不均匀的，例如晶粒尺寸有大有小，方位也不相同。不同的组织结构往往会引起不均匀变形，从而产生相互牵制的附加应力。

（4）模具工作部分的形状与尺寸不合理　如图 1-52 所示，在正挤压过程中，如果凹模的工作带高度尺寸不一致，那么在工作带较高的一边 h_2 处的金属流动速度将慢于较矮的一边 h_1 处。这样挤压件便产生弯曲。因此，在挤压件内部将产生相互牵制的附加应力。

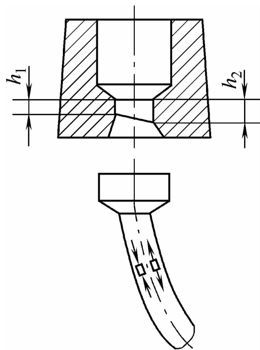


图 1-52　凹模工作带尺寸不一致所产生的附加应力

附加应力习惯上可分为三种：在变形体中，为了平衡几个大的部分之间由于不均匀变形而产生的应力，称为第一种附加应力；为了平衡两个或两个以上晶粒之间由于变形不均匀分布所产生的应力，称为第二种附加应力；为了平衡一个晶粒内部由于各部分之间的不均匀变形而产生的应力，称为第三种附加应力。

1.5.4　残余应力

引起塑性变形的作用力取消之后，仅基本应力随之消失。附加应力不是由外力引起的，而是为了自身得到平衡引起的。因此，当外力取消以后，附加应力并不消失而残留在变形体内部成为残余应力。与附加应力相同，残余应力也是互相平衡的。与三种附加应力相对应，残余应力也可分为第一种、第二种、第三种残余应力。

在一般情况下，附加应力和残余应力不是我们所希望的，都是有害的。

（1）缩短挤压件的使用寿命　若使具有残余应力的挤压件承受载荷，则其内部作用的应力为外力所引起的基本应力与残余应力之和，也可为二者之差，因此引起物体内应力的分布不均匀。显然，当合成的应力数值超过零件材料的许用值时，则该零件就会产生变形或开裂，从而缩短了使用寿命。

（2）引起挤压件尺寸及形状的变化　在挤压件内部作用着相互平衡的残余应力，表明在各部分存在不同的弹性变形和晶格畸变。当残余应力消失或平衡受到破坏后，相应的物体各部分的弹性变形也发生了变化，从而会引起物体尺寸的改变，有时还可能发生挤压件形状歪扭、弯曲等不良情形。

（3）降低金属的耐蚀性　当挤压件的表层具有残余应力时，会降低其耐蚀性，甚至很快就被破坏。此外，残余应力还会使金属的塑性、冲击韧度及疲劳强度等降低。

由上述分析可见，挤压件内部存在残余应力将会引起许多不良后果，特别是表层有残余拉应力时危害性更大，因此，必须尽量设法消除残余应力。在冷挤压加工时，防止或减轻产生残余应力的措施，主要是从消除或少产生不均匀变形的根源入手。其主要措施有：

1）采用良好的润滑剂，以减少因摩擦阻力而引起的不均匀变形。

2）合理设计模具工作部分的结构、形状和尺寸，以保证挤压件的变形与应力的分布较为均匀。

3）采用均匀的组织结构，尽可能在晶粒大小均匀的状态下变形。

4）冷挤压后采用有效的热处理方法以消除残余应力。

实践证明，第一种残余应力用低温回火方法就可大大减小；第二种残余应力在稍低于再结晶温度下可以完全消除；而第三种残余应力，只有经过再结晶使晶格完全恢复到原来的形状后才能消除。

1.6　冷挤压时的外摩擦和润滑

在金属塑性成形过程中，被加工金属与模具之间都有相对运动，因而在接触表面间便产生阻止切向运动的阻力，即外摩擦。外摩擦的存在会使塑性加工所需的力、能量增加；使模具磨损加剧，使工件表面发生粘结、擦伤等现象。所有这些既影响产品质量，又降低模具的使用寿命。

润滑和塑性成形有密切的关系。润滑技术的开发能促进挤压加工的发展。20 世纪 30 年代，钢的冷挤压技术由于研制出了磷化-皂化润滑新工艺，才得以成功地用于工业生产便是一例。随着新材料、新工艺的出现，必将要求人们解决新的摩擦、润滑问题，以适应塑性成形技术不断进步的需要。

1.6.1　冷挤压过程中的摩擦特点及种类

1. 摩擦特点

冷挤压变形过程中，模具表面与毛坯直接接触，它们之间存在着滑动摩擦。由于冷挤压变形时的压力可高达 2000～2500MPa 以上，因此，冷挤压变形过程中的滑动摩擦与机器零件中的滑动摩擦有很大的差别。其主要特点如下所述。

（1）模具与毛坯的接触表面产生局部粘结　在冷挤压加工中，接触表面上的压力很高，故表面之间接合很紧密。在变形过程中，还有内部质点不断地迁移到接触表面上来。这些都使接触表面间的原子吸引力增大，从而使接触表面之间产生粘结的趋势增强。如果金属的粘结强度较高，则剪切变形将发生在变形金属表层下较软的区域内。在一般情况下，当沿接触表面产生滑动时，必然切断粘结面，沿该粘结面的切力就是摩擦力的一部分。

在冷挤压变形区内沿接触表面存在分子吸引力，并产生局部粘结，这可由冷挤压变形时产生死区金属得到证明。

（2）接触表面的机械咬合　由于模具和毛坯表面实际上都具有一定的平面度误差，存在着微观的凸起和凹谷，彼此接触时互相嵌入，形成如图 1-53 所示的机械咬合。当接触表面产生滑动时，模具表面的凸起必须碾平陷进凹谷内的变形金属。很显然，凸起越高，压入变形金属内的深度大，表面沿切向位移所需的力就越大，也就是摩擦阻力越大。

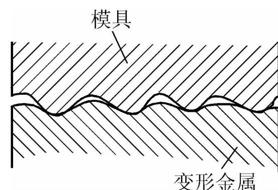


图 1-53　接触表面的机械咬合

（3）中间物质的剪切　在冷挤压加工中，在模具与变形金属的接触表面之间，常有中间物质存在，形成一定厚度的隔离层，部分地或全部地屏蔽着金属的表面。这

些中间物质主要为金属表面上的工艺润滑剂、水和灰尘等，对摩擦过程有很大的影响。通常是中间物质的强度大大地低于变形金属。当沿接触表面产生滑动时，将在中间物质的隔离层内发生剪切变形。该剪切力为摩擦阻力的一部分。

2. 滑动摩擦种类

冷挤压加工中，为了减少摩擦阻力，应加润滑剂。生产实践证明，润滑剂性能的优劣对于摩擦过程有着很大的影响。现根据润滑剂隔离层的厚度和存在情况，将冷挤压中的滑动摩擦分为如下三种基本类型。

（1）液体润滑摩擦　在模具与变形金属的接触表面之间存在较厚的润滑层，当其厚度大于分子距离的1000倍时，可形成液体润滑摩擦。由于冷挤压加工压力很大，润滑剂将部分地被挤出，因此，在冷挤压过程中，只可能在部分接触表面上形成液体润滑摩擦。

（2）吸附润滑摩擦（边界摩擦）　在模具与变形金属的接触表面之间，仅存在润滑剂吸附层的润滑摩擦，称为吸附润滑摩擦或边界摩擦。由于在吸附层内分子成为定向排列，润滑剂的吸附层不具有液体的基本物理性质——流动性，而相当于固体物质，因此能承受较大的压力，具有较低的层间剪切阻力。如果润滑剂能在接触表面形成紧附于金属表面上的高塑性的吸附层，其润滑效果更好。但是，完全的吸附润滑摩擦，在实际中是难以找到的。这是因为接触表面总不是理想的那么平直和光滑。在冷挤压变形过程中，吸附层一旦在部分接触表面间遭到破坏，便形成半干摩擦。

（3）干摩擦　接触表面之间没有润滑剂薄膜和任何杂质存在，摩擦表面处于直接接触状态的摩擦，称为干摩擦。实际上，真正的干摩擦只能在高真空中实现。在冷挤压中，绝对的干摩擦是不存在的，也是不希望的。如果出现真正的干摩擦，接触表面必产生粘结（粘附），从而伴随接触表面间的相对滑动而产生严重的表面擦伤。

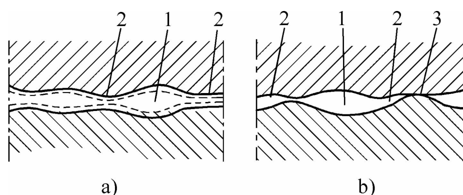


图 1-54　接触表面的实际摩擦状态
a）润滑情况良好　b）润滑情况较差
1—液体润滑摩擦　2—边界摩擦　3—半干摩擦

冷挤压中的摩擦皆是上述几种滑动摩擦的混合情况，如图 1-54 所示。当采用良好的润滑剂时，形成液体润滑摩擦和吸附润滑摩擦的混合摩擦情况；当采用一般的润滑剂时，则形成液体润滑摩擦、吸附润滑摩擦和半干摩擦的混合摩擦情况。

1.6.2　影响摩擦力的因素

从上述分析可知，在冷挤压加工中计算摩擦力的大小，严格说来库仑定律已不适用。这是因为冷挤压中的摩擦力应由两部分组成：一部分为与正压力有关的摩擦力；另一部分为与正压力无关的附着力。但是目前对于冷挤压中摩擦规律的研究还很不够，欲确定与局部粘结、机械咬合、中间物质等有关的摩擦力大小是很困难的。因此，目前计算摩擦力的大小仍采用与库仑定律相同的形式。不过，此时摩擦因数的大小不能采用机器零件中滑动摩擦因数值，其数值应该加大，加大的部分就是考虑了与正压力无关的附着力的影响。

因此，这里主要讨论摩擦因数的大小，容易理解摩擦因数的数值实际上随金属的化学成分、模具表面状态、接触面上压力、接触面积、变形程度、变形速度、变形温度以及润滑条件状况而异。下面将具体分析这些因素的影响。

（1）金属化学成分　外摩擦因数随着金属、化学成分的不同而异。例如，用光洁的钢压头，在常温下对不同材料进行压缩时测得：软钢的摩擦因数为 0.17，铝的摩擦因数为 0.18，α-黄铜的摩擦因数为 0.10，电解铜的摩擦因数为 0.17。对于不同的钢种，摩擦因数也不一样。钢中的碳含量增加时，摩擦因数会减小。钢中的合金元素的种类、数量也影响摩擦因数，一般说来，随着合金元素的增加，摩擦因数下降。

金属的种类、化学成分影响接触面的粘合性。例如，在同样的压力下，室温时铝与钢在干摩擦的粘合性比钢与钢之间的粘合性大得多，接触面的粘合性越强，摩擦因数越大。总的说来，金属材料越硬，摩擦因数越小；反之，软材料的摩擦因数则较大。

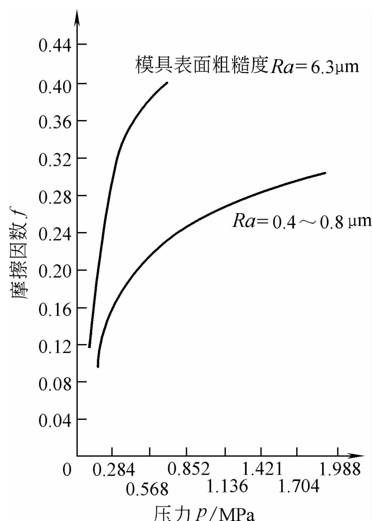


图 1-55　锡在模具钢上滑动时模具表面粗糙度对摩擦因数的影响

（2）模具表面状态　表面状态主要是指表面粗糙度、加工痕迹的方向及硬度等。

模具表面越粗糙，越凹凸不平，真实接触面积率就越大，摩擦因数也就越大。图 1-55 所示为锡在模具钢上滑动时模具表面粗糙度对摩擦因数的影响。由该图可知，模具表面粗糙度越小，摩擦因数就越低。

模具表面的机械加工痕迹的方向性，使摩擦因数也具有方向性。实验证明，顺着加工方向的摩擦因数比垂直于加工方向的摩擦因数约小 20%。

模具表面的硬度越高，受压力作用后，弹性变形越小，使真实接触面积率减小，则摩擦因数也减小；反之，硬度越小，摩擦因数就越大。模具与变形金属的硬度差越大，硬度高的模具表面上的凹谷就越易被金属所充填，使真实接触面积率增大，则摩擦因数也增大。

冷挤压成形中，模具的表面粗糙度在决定摩擦因数大小方面是起主要作用的。但被挤压毛坯表面粗糙也会引起摩擦因数的增加，因此要求毛坯表面应该足够平整和光滑。

（3）接触面上单位压力　计算冷挤压摩擦力的大小仍借用库仑定律，即摩擦力 T 与正压力 P 成正比，即

$$T = fP \tag{1-8}$$

式中　f——冷挤压变形时的摩擦因数。

冷挤压变形时，在模具与毛坯的接触面上，由于存在摩擦力，从而引起了切应力。这种切应力称为平均摩擦应力，用 τ 表示，则

$$\tau = \frac{T}{A} \tag{1-9}$$

式中　A——接触表面的面积。

由
$$T = \tau A = fP = f\sigma A \tag{1-10}$$

得
$$f = \frac{\tau}{\sigma}$$

式中　σ——正应力。

由式（1-10）可知，当其他条件相同时，单位面积上的摩擦应力与正应力成正比。但这一正比关系是有限制的，这是因为随着正应力的增大，变形程度增大，被挤毛坯与模具之间的凸起与凹谷互相嵌入程度增大。当互相嵌入达到了最大值时，摩擦力也达到了最大值。在单向应力状态下，当摩擦应力等于临界剪应力 τ_K 时达到最大值，此时

$$f = \frac{\tau_K}{\sigma} \tag{1-11}$$

τ 与 σ 的正比关系也破坏了。由式（1-11）可知，由于 τ_K 为定值，因此摩擦因数 f 值随正应力 σ 的增大反而下降。原因在于：随着正应力的增大，在被挤毛坯与模具接触面上出现所谓“磨损生成物”，这些质点起着吸附润滑的作用，单位压力越大，“磨损生成物”越多，吸附润滑作用越大，摩擦因数就越小。

（4）接触面积　冷挤压加工的摩擦应力 τ 可用下式表示：

$$\tau = \tau_1\beta + \tau_2(1-\beta) \tag{1-12}$$

式中　β——真实接触面积率；

τ_1——真实接触面积上的摩擦应力；

τ_2——充满润滑剂部分的摩擦应力。

接触面上充满润滑剂，可以认为是属于液体润滑。此时 $\tau_2=0$，那么，式（1-12）变为

$$\tau = \tau_1\beta \tag{1-13}$$

式（1-13）表明摩擦应力与真实接触面积率成正比。冷挤压加工中采用良好的表面处理和润滑处理就是为了减少 β，从而减少摩擦应力。近几年发展起来的静液挤压如图 1-56 所示。由图 1-56 中的结构可知，毛坯进入凹模锥形部分以前，四周充满高压液体，当进入凹模锥形部分时，带入高压液体，使毛坯始终保持良好的液体润滑状态，大大减小真实接触面积率，即明显减小摩擦阻力。

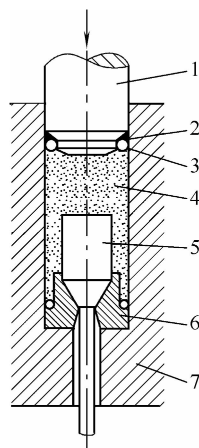


图 1-56　静液挤压

1—凸模　2—钢圈
3—密封圈　4—液体介质
5—毛坯　6—凹模
7—挤压筒

（5）变形程度　随变形程度增加，真实接触面积率 β 增大，因而摩擦应力 τ 也增大，如图 1-57 所示。由图 1-57 还可以看出：原始润滑膜越厚，相同变形程度时的真实接触面积率 β 越小。

（6）变形速度　随着变形速度的增加，摩擦因数逐渐减小，如图 1-58 所示。由图 1-58 可知，高速变形的摩擦因数比低速变形小。原因在于：由液体润滑状态变成吸附润滑或半

干摩擦需要一定的时间，高速变形的时间极短，仍能维持良好的润滑状态和较小的真实接触面积率β，因而摩擦因数也就较小。

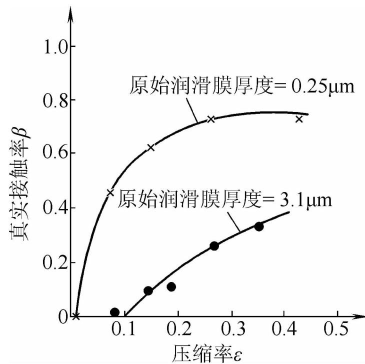


图 1-57　变形程度与真实接触面积率的关系

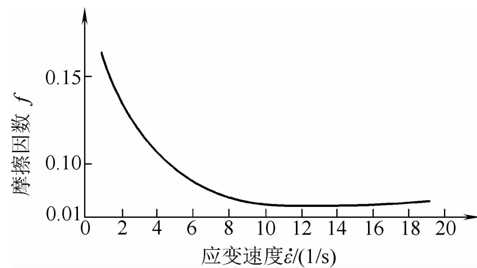


图 1-58　铝试样压缩加工时变形速度与摩擦因数的关系

（7）变形温度　冷挤压过程中，由于热效应的影响比较显著，使得模具和毛坯材料的变形温度皆有不同程度的提高，这就直接影响到润滑剂的黏度，从而影响到润滑皮膜的厚度和摩擦因数的大小。图 1-59 所示为摩擦因数与变形温度的关系。由该图可知，不同黏度的润滑剂，随着变形温度的升高，摩擦因数逐渐加大。

（8）润滑条件　良好的润滑条件可以始终保持较厚的润滑皮膜、较小的真实接触面积率β，从而保持较小的摩擦因数。因此，合理选择润滑剂能成倍降低摩擦因数。

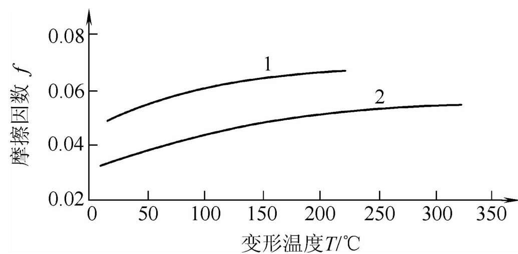


图 1-59　摩擦因数与变形温度的关系
1—黏度较小的润滑剂　2—黏度较大的润滑剂

（9）其他因素的影响　载荷特性对摩擦也有明显的影响。例如，振动变形能使毛坯的塑性变形力降低 1.5 ~2 倍，超声加工条件也能减小摩擦。

关于不同冷挤压条件下的摩擦因数值，建议参考表 1-1 选取。

表 1-1　摩擦因数 f 值

加工条件	摩擦因数 f
模具表面研磨加工，润滑良好	0.05 ~0.10
模具表面研磨加工，无润滑	0.10 ~0.15
模具及被挤毛坯均为一般加工表面	0.15 ~0.20
模具及被挤毛坯均为粗加工表面	0.20 ~0.30

总之，在大多数情况下，冷挤压中的摩擦和摩擦力是一个不利的因素。它带来了以下几方面的不利影响。

1）由于外摩擦的作用，引起应力和变形不均，使工件内产生附加应力和残余应力，降低产品质量，如图1-60所示零件产生内孔表面环状裂纹。

2）由于外摩擦的作用，增加了克服摩擦力的附加变形功及变形力，使工作应力增加，能量消耗提高。

3）由于外摩擦的作用，使变形力增加，因而加重模具的负荷，此外摩擦力会加快模具的磨损，降低模具的使用寿命。

4）由于外摩擦的作用，引起变形不均匀分布，使挤压件产生附加应力和残余应力，从而降低了产品质量。

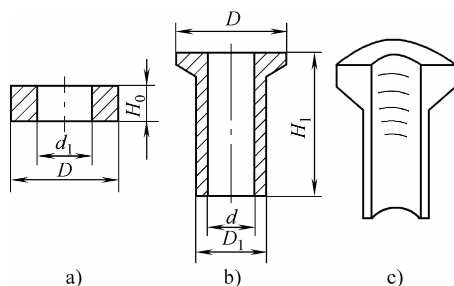


图1-60　锡磷青铜冷挤压

a）毛坯　b）挤压件　c）内孔环状裂纹

5）由于外摩擦的作用，有时会产生粘模现象，增加了从模具中取出冷挤压件的困难，影响正常生产工作。

1.6.3　冷挤压中的润滑剂

1. 润滑剂的效果

冷挤压时，影响摩擦力的主要因素是模具工作表面状态和润滑情况。因此，在生产中都将模具工作部分加工成很光洁的表面，一般表面粗糙度 *Ra* 在0.4μm以下。合适的润滑剂可以有如下的效果。

1）显著降低模具与变形金属之间的摩擦因数。

2）降低变形功及变形力。

3）减少模具的磨损，防止模具损坏及提高模具的使用寿命。

4）防止由于附加应力而引起的各种挤压件废品。

必须指出，润滑剂的用量要适当，否则会产生缺陷。例如反挤薄壁件时，由于润滑剂太多，会造成单向缺口现象。

2. 润滑剂的要求

为了减少摩擦对冷挤压成形过程的不良影响，必须选用合适的润滑剂。冷挤压加工中使用的润滑剂一般应符合以下要求。

1）润滑剂应有良好的耐压性能，在高压力作用下，润滑膜仍能吸附在接触表面上，保持润滑效果。

2）应有良好的耐热性。由于冷挤压变形会产生热能，使毛坯温度升高，此时润滑剂应不分解、不变质。

3）润滑剂不应对金属毛坯和模具有腐蚀作用。

4）润滑剂应对人体无毒，不污染环境。

5）润滑剂要求使用、清理方便，来源丰富，价格便宜等。

3. 润滑剂的种类

冷挤压加工时，常用的润滑剂有液体润滑剂和固体润滑剂两大类。

（1）液体润滑剂　液体润滑剂包括矿物油、植物油、动物油、乳液等。矿物油多是全损耗系统用油，全损耗系统用油的化学成分稳定，与金属不起化学作用，但摩擦因数比动、植物油大，因此，常把全损耗系统用油作配制润滑油的基油，再加入各种添加剂以制成所需的润滑油。动、植物油主要有猪油、牛油、鲸油、蓖麻油、棕榈油等。动、植物油含有脂肪酸，与金属起反应后在金属表面生成脂肪酸的润滑膜，润滑性能良好。动、植物油与矿物油相比，它的化学成分不稳定，还带有酸性。

（2）固体润滑剂

1）石墨。石墨具有六方晶格的层状结构，同一层内碳原子是以共价键连接的，因此石墨晶格受到剪切力作用时，就容易在层与层之间产生滑移。当金属毛坯与模具间涂有石墨的两接触面发生摩擦时，事实上是石墨层与层之间的摩擦，这样就起到了润滑作用。

石墨具有良好的导热性和热稳定性，滑动速度对它的摩擦特性影响很小，随着压力的增大，石墨的摩擦因数增大。另外，石墨的润滑作用和它吸附气体有关。石墨吸附气体后，摩擦因数减小，因此，它在真空条件下的润滑性能不如在空气中好，因而真空条件下，不采用石墨作润滑剂。石墨的摩擦因数一般在 0.05 ~ 0.19 的范围内。

2）二硫化钼。二硫化钼也是六方晶格结构，在二硫化钼晶体中，每个钼原子被六个硫原子所包围，硫原子处在钼原子的上、下层，形成 S—Mo—S 层状结构。在表面的硫原子与金属表面有较强的吸附性，因此，二硫化钼容易涂抹在金属表面上。此外，由于原子间距的差异关系，很容易在硫原子层之间发生滑动。当涂有二硫化钼的接触面相对滑动时，就发生二硫化钼分子层面的滑移，因此呈现出良好的润滑性能。二硫化钼的摩擦因数为 0.12 ~ 0.15。

二硫化钼在真空中的摩擦因数比在大气中的还小，因而可作为真空条件下的润滑剂。

3）肥皂和蜡类润滑剂。常用的肥皂和蜡类润滑剂有：硬脂酸钠、硬脂酸锌以及一般肥皂等。硬脂酸锌用于冷挤压纯铝、铝合金；硬脂酸钠用于钢坯磷化处理后的皂化处理工序，也用于冷挤压有色金属。

1.7　冷挤压对金属组织和力学性能的影响

金属毛坯经过冷挤压成形加工之后，对其组织和力学性能均会有一定的影响。

1.7.1　对金属组织的影响

冷挤压对金属组织有一定的影响。从钢的冷挤压来看，变形后的组织结构大致会发生如下一些变化。

1. 显微组织的变化

冷挤压时，在强烈的三向压应力作用下，金属晶粒被破碎，原来晶粒较大的金属，冷挤压变为晶粒较小的金属。

挤压时，金属晶粒的形状也发生了改变，使原来近于球形的晶粒由于变形而被拉长，如图 1-61 所示。冷挤压的变形程度越大，晶粒形状的改变也越大。被拉长的晶粒相对地增加了晶粒边界的表面积，即相对地增加了难变形区。难变形区越大，变形抗力的提高也越大。这是冷挤压加工可以强化金属的原因之一。

冷挤压变形时，晶粒的方位也有了改变。变形前为取向无序的晶粒（见图 1-62a），随着变形的发展而变成在位向上的有序状态图（见图 1-62b）。当冷挤压的变形量很大时，各晶粒的取向会大致趋向一致。这种由于变形而使晶粒具有择优取向的组织，称为“变形织构”。

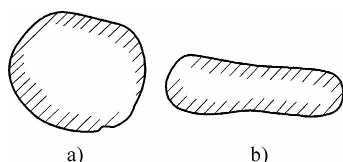


图 1-61　晶粒形状改变
a）变形前　b）变形后

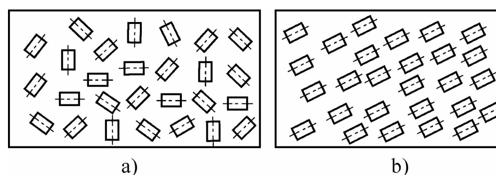


图 1-62　冷挤压变形前后晶粒方位的改变
a）变形前　b）变形后

冷挤压件的变形织构形成会产生以下影响：

1）随着晶粒位向进入有序状态，使金属材料的变形抗力有所提高。

2）晶粒有序位向的形成会引起金属材料的力学性能各向异性。

在冷挤压变形的金属中，存在削弱金属强度的夹杂物。由于冷挤压加工是属于二压一拉的主应变状态，因此，夹杂物顺着拉伸的方向被拉长，这就造成了所谓纤维组织。随着变形程度的增加，纤维组织越细越长，它在降低金属强度方面的作用就越小，从而使零件的强度相应提高。

2. 产生内应力

经冷挤压成形加工的零件，放置一段时间后，可能会自动发生变形，这是由于零件内部存在着内应力而造成的。此处讲的内应力就是前述的残余应力，因此，与三种残余应力相对应，内应力也有三种类型。

（1）宏观内应力　宏观内应力是由被挤毛坯各部分之间的变形不均匀而引起的。

（2）微观内应力　微观内应力是由于各晶粒取向不一致，产生了不均匀变形而引起的。

（3）晶格畸变　晶格畸变是由于冷挤压变形使原子在晶格中偏离其平衡位置而引起的。

为了避免零件变形，可采用去应力退火工艺。

3. 亚结构细化

在多晶体的每一个晶粒内，晶格位向也并非完全一致，而是存在着许多尺寸很小、

位向差也很小的晶块，它们相互嵌镶而成晶粒，这些小晶块称为亚结构。铸态金属中亚结构尺寸较大，其边长为 10^{-2} cm，经过冷挤压等冷塑性变形以后，亚结构将细化为 $10^{-6}\sim10^{-4}$ cm。亚结构的边界是晶格畸变区，堆积有大量的位错。因此，亚结构细化可以强化金属材料。

1.7.2　对力学性能的影响

1. 力学性能出现方向性

冷挤压时，金属朝着一定方向流动。因此，冷挤压后，挤压件的力学性能出现了方向性，与流线方向相垂直和平行的方向上的强度是不同的，如图 1-63 所示。

2. 硬度分布不一致

冷挤压时，因各部分的变形程度不同，使其各部分的硬化程度有较大的差异，这些差异可以用各处的硬度分布来表示。图 1-64 所示为 45 钢正挤压与镦挤压成形后的硬度分布。由该图可知，除了强烈的镦挤压部分以外，其余部分的表层比心部的加工硬化程度都要大。

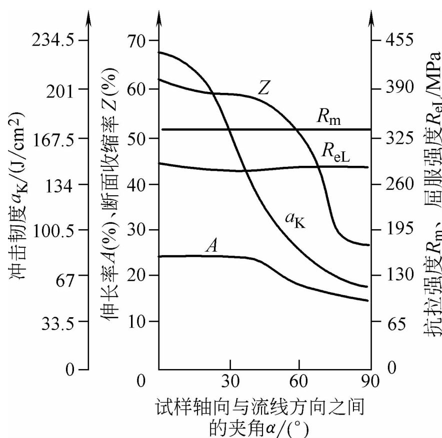


图 1-63　力学性能与流线方向的关系

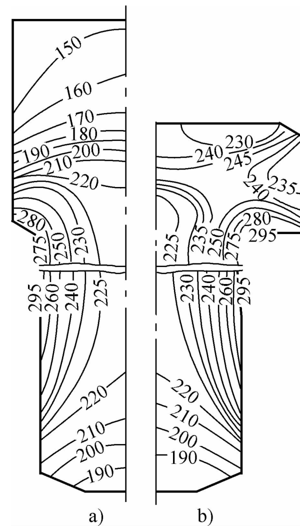


图 1-64　45 钢正挤压与镦挤压成形后的硬度分布

a）正挤压成形　b）镦挤压成形

3. 力学性能的变化

1）正挤压杆形件由于塑性变形伴随着金属强化，材料的抗拉强度、屈服强度以及硬度都随变形程度增加而提高。图 1-65 和图 1-66 分别表示出了变形程度与抗拉强度和硬度的关系。

由图 1-65 可知，R_m 与 ε_F 呈线性关系，因此可用下式表示

$$R_m=(400+4\varepsilon_F)K \tag{1-14}$$

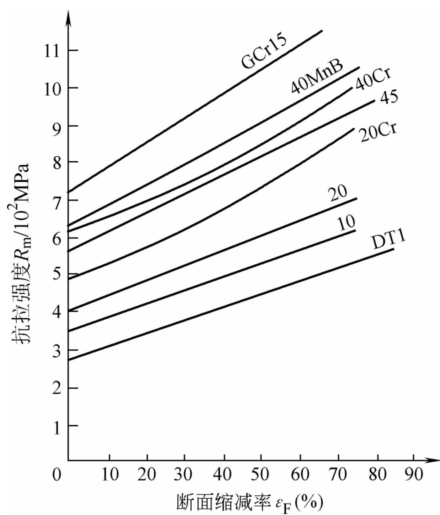


图 1-65 正挤压时不同材料的 R_m 与 ε_F 的关系

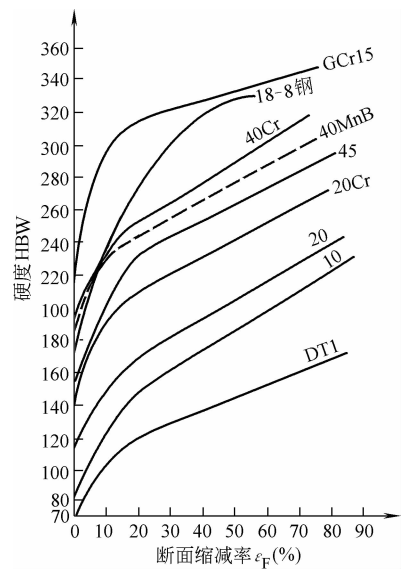


图 1-66 正挤压时不同材料的布氏硬度 HBW 与 ε_F 的关系

式中的 K 为材料系数，可由表 1-2 查得。

表 1-2 材料系数 *K*

材料种类	DT1	10	20	20Cr	45	40Cr	40MnB	GCr15
K	0.725	0.91	1	1.23	1.37	1.4	1.51	1.72

通过分析图 1-65 与图 1-66 可知，R_m、HBW 皆随 ε_F 呈线性关系增加，因此可求得 R_m 与 HBW 的关系式

$$R_m = \frac{1}{K_F} \times \text{HBW} \quad (1\text{-}15)$$

式中 HBW——正挤杆件中心部分的硬度；

R_m——正挤杆件中心部分的抗拉强度（MPa）；

K_F——材料系数，由表 1-3 查得。

表 1-3 材料系数 K_F

材料种类	DT1	10	20	20Cr	40Cr	45	40MnB
K_F	2.767	3.4	3.405	3.140	3.210	3.2	3.055

伸长率 A、断面收缩率 Z 随变形程度增加而下降，如图 1-67 所示。

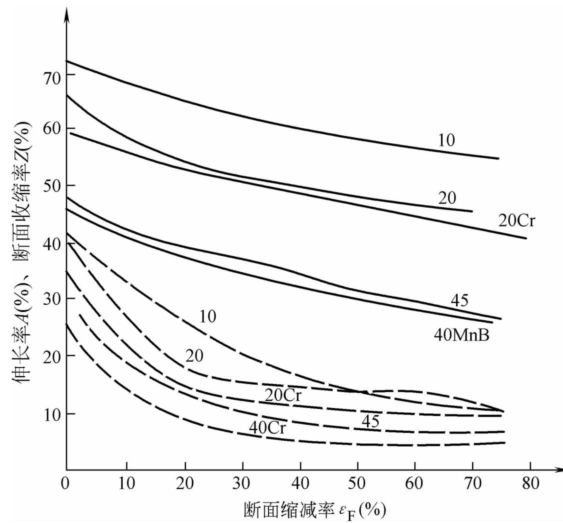


图 1-67　正挤压时不同材料的 A、Z 与 ε_F 的关系

----伸长率 A　——断面收缩率 Z

2）反挤压杯形件与正挤压情况基本相同，抗拉强度 R_m、维氏硬度 HV5 随 ε_F 增加而增加，A、Z 随 ε_F 增加而下降，如图 1-68 ~ 图 1-71 所示。

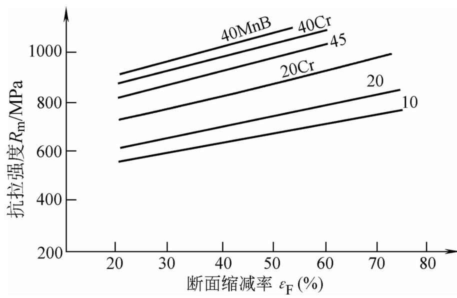


图 1-68　反挤压时不同材料的 R_m 与 ε_F 的关系

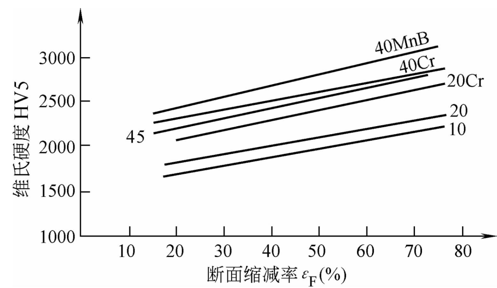


图 1-69　各种材料反挤压件外壁维氏硬度 HV5 与 ε_F 的关系

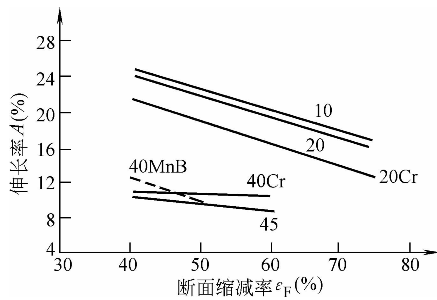


图 1-70　反挤压件的伸长率 A 与 ε_F 的关系

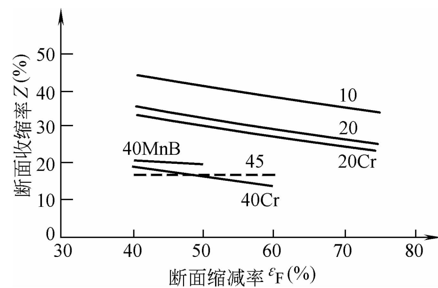


图 1-71　反挤压件的断面收缩率 Z 与 ε_F 的关系

由图 1-68 可知，R_m 与 ε_F 呈线性关系。它们的关系可用下式表示

$$R_m = R_{m0} + 145 + B\varepsilon_F \tag{1-16}$$

式中　R_{m0}——材料原始状态的抗拉强度（MPa）；

B——材料系数，可由表 1-4 查得。

表 1-4　材料系数 B

材料种类	10	20	20Cr	45	40Cr	40MnB
B	3. 5	3. 7	4. 8	5. 0	5. 4	5. 7

分析图 1-68 与图 1-69 可知，R_m、HV5 皆随 ε_F 呈线性关系增加，因此 R_m 与 HV5 关系式为

$$R_m = \frac{1}{K_b} \times \text{HV5} \tag{1-17}$$

式中　R_m——挤压件的抗拉强度（MPa）；

HV5——挤压件外壁维氏硬度（采用 50N 试验力）；

K_b——材料系数，可由表 1-5 查得。

表 1-5　材料系数 K_b

材料种类	10	20	20Cr	40Cr	45	40MnB
K_b	2. 96	2. 92	2. 72	2. 64	2. 46	2. 62

1. 8　冷挤压工艺的优缺点及应用范围

1. 8. 1　冷挤压工艺的优点

与其他制造方法相比，冷挤压工艺已成为金属塑性变形中最先进工艺之一，在技术上和经济上它都有很多的显著优点。

1. 显著降低原材料的消耗

冷挤压是一种金属塑性成形加工方法。它在不破坏金属的前提下使金属体积作出塑性转移，达到少切屑或无切屑而使金属成形，制得所需的形状及尺寸零件。这样就避免了在切削加工时形成的大量金属废屑，大大节约了各种金属材料，使 1t 金属材料能作 2t、甚至 3 ~5t 之用。图 1-72 所示通信器材中的纯铁底座，采用冷挤压材料消耗仅为原来切削加工的 1/10，即原来 1 个零件的材料现在可以加工 10 个产品。图 1-73 所示纯

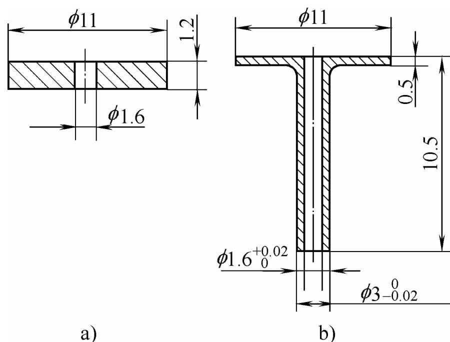


图 1-72　纯铁底座
a）毛坯　b）挤压件

铝旋钮接头，原来采用 ϕ22mm×21mm 的实心坯料切削加工，采用冷挤压后，只需用 ϕ20.3mm×6mm 的毛坯材料，材料消耗约为原来的 1/4。图 1-74 所示无氧铜排气管，原采用 ϕ40mm×180mm 圆筒形坯料切削加工，现采用冷挤压后只需用 ϕ40mm×ϕ17mm×20mm 的空心扁坯材料，显著节约了原材料，仅为原来的 1/9。图 1-75 所示双水内冷汽轮发电机水冷接头零件，用奥氏体型不锈钢制成，采用冷挤压后，材料消耗为原来切削加工的 1/2。图 1-76 所示汽车发动机活塞销冷挤压件的材料为低合金结构钢 20Cr，原来切削加工的单件消耗定额为 0.282kg（跃进牌活塞销），改用冷挤压后下降为 0.149kg。

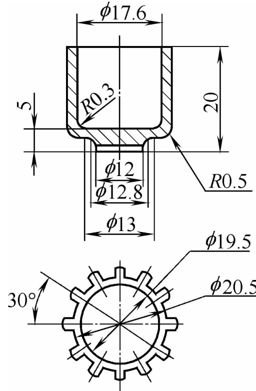


图 1-73　纯铝旋钮接头

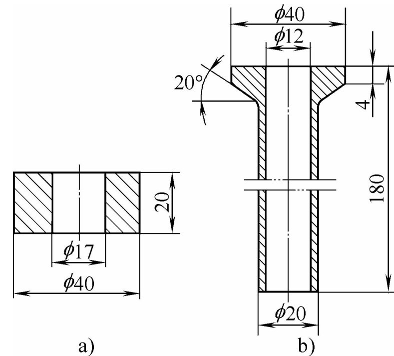


图 1-74　无氧铜排气管

a）空心扁坯　b）挤压件

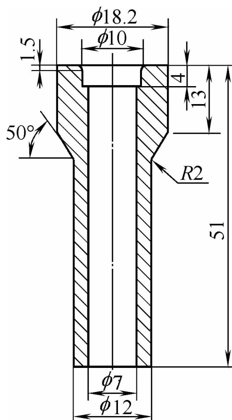


图 1-75　不锈钢水冷接头

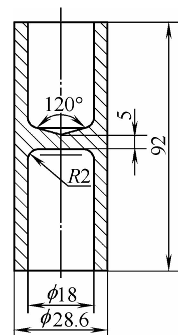


图 1-76　汽车发动机活塞销

2. 提高生产率

冷挤压零件是在压力机上进行的，操作方便，容易掌握，生产率很高。图 1-72 所示纯铁底座，由于纯铁较软，切削性能差，机加工较为困难，经采用冷挤压后，不仅节约了原材料，而且使生产率提高了 30 倍。图 1-77 所示纯铜高压开关零件，直接用六角空心板坯（由压力机上无废料落料）冷挤压而成，省去了原来的车削和铣削（十字槽）

工时。图 1-73 所示纯铝旋钮接头零件，改用冷挤压后，加工工时由原来机械加工的 5. 84min 下降到 1min。图 1-75 所示不锈钢水冷接头零件的工时亦由原来切削加工的 15min 下降到 1. 5min，提高工效 9 倍。图 1-76 所示汽车发动机活塞销，冷挤压比车削加工可提高生产率 3. 2 倍（以跃进牌活塞销为例）。目前又生产了冷挤压活塞销自动机，使生产率进一步提高，一台冷挤压自动机的生产率相当于 100 台卧式车床或 10 台四轴自动车床。

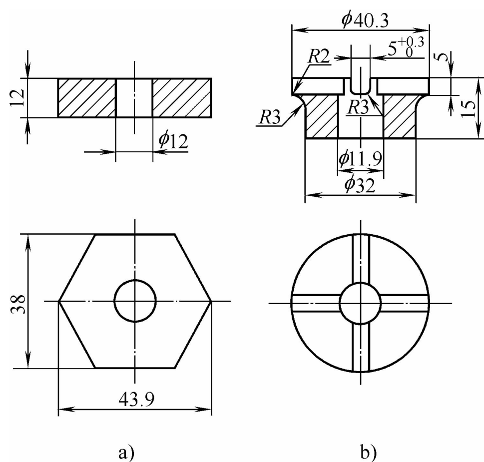


图 1-77　纯铜高压开关
a）六角空心板坯　b）挤压件

3. 可成形复杂形状的零件

在压力机的往复直线动作下完成复杂的加工工序，并可以制成形状复杂的零件。图 1-78 所示纯铝多层可变电容器、图 1-79 所示纯铝双层套零件，形状复杂，尺寸小，要求严。如采用切削加工方法制造，不仅生产率低，材料消耗大，而且在制造方面会感到十分困难；但用冷挤压加工则就显得十分方便。

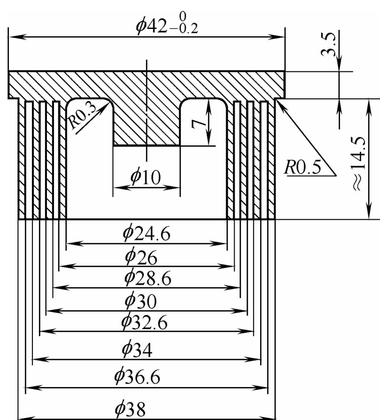


图 1-78　纯铝多层可变电容器

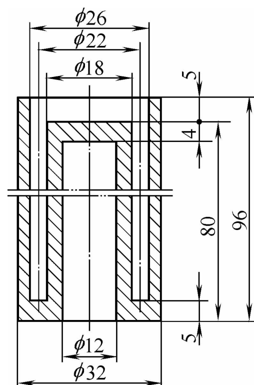


图 1-79　纯铝双层套

4. 提高零件的力学性能

在冷挤压过程中，金属材料处于三向不等的压应力作用下。挤压变形后，金属材料的晶粒组织更加致密，金属流线不被切断，成为沿着挤压件轮廓连续分布的金属流线，如图 1-80 所示的冷挤压活塞销的金属流线。图 1-81、图 1-82 所示为各种冷挤压零件上纤维的状态，可以看到所有纤维没有任何尖锐的间断痕迹。同时，由于冷挤压利用了金属材料冷变形的加工硬化特性，使冷挤压件的强度大为提高，从而提供了用低强度钢代替高强度钢的可能性。例如，我国过去采用切削加工法生产汽车发动机活塞销，所用原

材料为低合金结构钢 20Cr。由于改用冷挤压法生产，可提高活塞销零件的力学性能，故采用 20 低碳钢。经试验测定，各项力学性能指标证明，冷挤压法高于切削加工法。这说明了改用冷挤压法加工活塞销可以用 20 钢代替原来的 20Cr 钢。

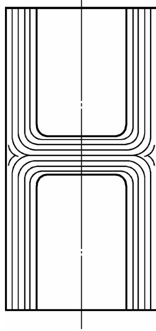


图 1-80　冷挤压活塞销的金属流线

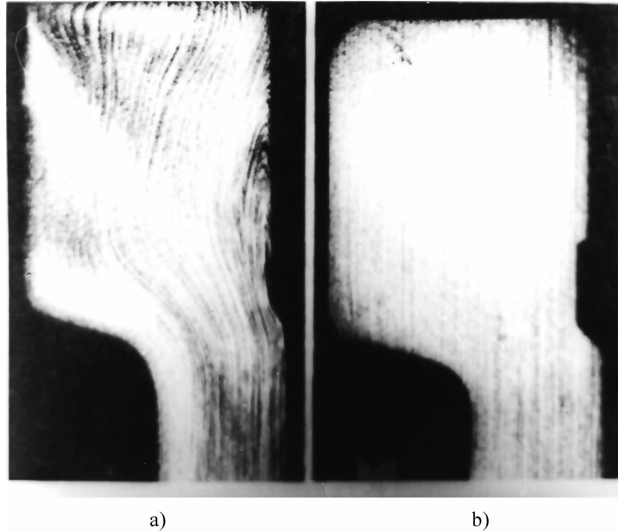


图 1-81　两种加工方法的纤维状态

a）冷挤压　b）切削加工

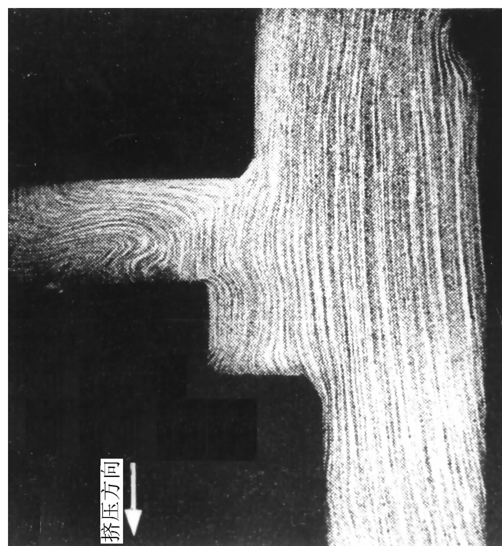


图 1-82　轴向挤压时轮毂部分的流线状态

5. 可获得较高尺寸精度及较低表面粗糙度的零件

经冷挤压成形零件的表面质量良好。在冷挤压过程中，金属表面在高压下受到模具

光滑表面的熨平，因此零件的表面粗糙度很低，表面强度也大为提高。一般冷挤压制件的表面粗糙度 Ra 低于 1.25μm。如果模具型腔的工艺处理合适，特别是在有色金属冷挤压采用理想的润滑时，可以得到超过精磨而次于抛光的表面粗糙度值（$Ra=0.08\sim0.16\mu m$）。由此可见，用冷挤压法加工的零件，有的部位可以少留加工余量，甚至不留加工余量即可达到产品图样上的技术要求。

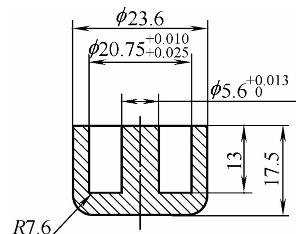


图 1-83　普通碳素钢缝纫机梭芯套

冷挤压零件的尺寸精度一般可达精度等级 IT8 ~ IT9，个别的尺寸公差范围可控制在 0.015mm 以内。图 1-83 所示普通碳素钢缝纫机梭芯套的内孔尺寸公差仅为 0.015mm。

冷挤压工艺可以获得理想的制件表面粗糙度与尺寸精度，有些零件经挤压之后可以不再进行切削加工，从而为采用冷挤压加工代替某些零件的锻造、铸造与切削加工开辟了一条广阔的道路。

6. 缩短生产周期

冷挤压工艺是在闭式模具型腔中进行金属塑性变形，所得的挤压件是没有飞边的，故不再需要切边（或冲孔）后续工序，从而缩短了生产周期。

7. 减少设备投资

与模锻工艺相比，因冷挤压不产生飞边，故可省去了切边模及切边压力机，明显地减少了设备投资。另外，冷挤压生产加工，可在专用的冷挤压压力机上，也可以在通用液压机上进行，还可以在非专门为冷挤压而设计的普通压力机上进行，如通用压力机或摩擦压力机。

8. 降低零件的生产成本

由于冷挤压可以大大节省原材料和加工工时，因此必然可降低零件的制造成本。例如，生产图 1-84 所示的汽车活塞销，可以用圆钢切削加工或冷挤压加工，也可以用无缝钢管作为材料切削加工制成。这三种加工方法的成本比较如表 1-6 所示。表 1-6 中的数据表明，冷挤压加工活塞销的成本最低，相对于切削加工成本降低 45%，比用无缝钢管作原料的加工成本降低 29%。

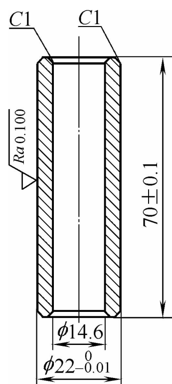


图 1-84　汽车活塞销

表 1-6　不同加工方法生产汽车活塞销的成本比较

项　　目	冷挤压	切削加工	无缝钢管加工
毛坯形状及尺寸	冷拔圆钢 φ22.6mm	热轧圆钢 φ25mm	冷拔钢管 φ25mm×5mm
单件材料消耗定额/kg	0.149	0.282	0.14
单件材料费/元	6	9.9	12.6
单件加工工时/min	2.5	5.5	3.0
单件加工工时费/元	6.25	13.75	7.5
热处理费用/元	2	2	2
单件成本/元	14.25	25.65	22.1

1.8.2　冷挤压工艺的缺点

在长期的生产实践中，与其他制造工艺相比，冷挤压虽然表现出很多的优点，但往往还存在一定的问题。冷挤压工艺的缺点如下所述。

1. 变形抗力高

冷挤压时，被挤压材料的变形抗力较高，其中最有实用意义的是钢的冷挤压，其变形抗力高达 2000MPa 以上。这样的超高压力对模具材质、结构以及加工制造等提出了更高的要求。

2. 模具寿命短

由于冷挤压模具承受着很大的单位压力作用，最高可达 3000MPa，模具易磨损，易破坏；虽然在模具材料和模具结构等方面采用了很多有效的措施，但与冲压模具相比，其使用寿命还是不高的。据有关资料统计，正挤压用的钢制凸模平均寿命为 2 万件左右，凹模为 3 万件左右；而冲裁或拉深的模具寿命一般高达 10 万件以上。

3. 对毛坯的要求较高

冷挤压加工时对毛坯的要求比其他金属塑性成形加工工艺都高，否则，会使模具受到损坏。对于冷挤压毛坯，除了要求毛坯具有准确的几何形状和较高的尺寸精度外，还要求在冷挤压变形之前对毛坯进行一定的软化退火处理及表面润滑处理。

4. 对冷挤压设备要求较高

当实施冷挤压工艺过程时，除了要求冷挤压设备应有较大的强度以外，还要求有较好的刚度。此外，还要求设备具有良好的精度并具有可靠的保险装置。

1.8.3　冷挤压工艺的应用范围

通过上述分析可见，冷挤压加工方法是一种“优质、高产、低消耗、低成本”的先进工艺，在技术上和经济上都有很高的应用价值。目前，冷挤压技术已在我国汽车、摩托车、仪表、电信器材、轻工、建筑、宇航、船舶、军工及五金等工业领域中获得了广泛的应用，已成为金属塑性成形技术中不可缺少的重要加工手段之一。

冷挤压作为一种少无切屑的新工艺，已经成为先进制造技术中极具特色的一个门类。冷挤压加工的缺点与优点相比是次要的，是相对于当前技术条件而言的，随着科学技术的迅速发展，模具钢新材料的研究及开发，模具结构设计的合理化，缺点问题会被解决，优越性将会得到充分发挥。因此，可以预见，这种先进的金属塑性成形加工工艺将会起到更大的作用，在各个行业中得到越来越广泛的应用。

1.9　冷挤压技术现状及发展方向

冷挤压加工的发展在初期是极其缓慢的，长期以来一直局限于铅和锡等几种较软的金属材料。18 世纪末，法国人首先成功地冷挤压出铅棒。直到 19 世纪末 20 世纪初，才开始应用于锌、锡、纯铜、无氧铜及黄铜等，如冷挤压生产锡制牙膏管。英国于 1886

年开始运用于冷挤压加工，某一工厂先从加工软金属开始，后来逐步实现冷挤压比较坚硬的有色金属，如锌、铝、铜及其合金。1903 年美国运用冷挤压制成薄壁黄铜管。随后，又采用预制成杯形坯料，然后再用正挤压的方法，成功地制成深孔杯形件。第一次世界大战期间，美国军火商采用这种挤压方法大批量生产黄铜弹壳。第一次世界大战后，德国用冷挤压方法可成批生产纯铝和纯锌电容器外壳等各种有色金属器件。

至于钢的冷挤压，美国曾企图通过冷挤压法生产钢质弹壳，经过较长时间的研制，但是最终还是未获成功。这是由于在钢在冷挤压时需要很大的压力，而在当时的工业条件下还不能找到能承受较大压力下的模具材料，也没有找到良好的润滑剂以及大吨位的冷挤压压力机等。这样很久以来，钢的冷挤压一直被认为是十分困难甚至是不可能的。因此，至 1920 年为止，还不能对钢零件进行冷挤压加工。后来在 1921 年德国制造出冷挤钢管专用压力机，经过近 10 年的艰苦试验，直到 1931 年冷挤压钢管才试制成功。但未正式投入生产，其原因也是由于钢冷挤压时，变形抗力过大，找不到合适的冷作模具钢材料和良好的润滑剂。直到 20 世纪 40 年代，冷挤压钢零件的新工艺才开始在德国首先得到应用。

当时，研究者认为，寻找一种合适的润滑方法比研究冷挤压成形工艺本身更为重要，并在方法及经费方面更为有利。早在 1906 年，英国人科斯利特（T. W. Coslett）发现采用磷酸盐对钢铁制件进行表面处理是一种理想的防锈方法。但由于这种工艺处理的工时太长，经济效益不显著，所以未被广泛应用。不过，这种防锈方法的出现对今后的研究工作有一定的影响。后来，在科斯利特处理法的基础上，人们经过工艺改进并研制出了一种磷酸锌防锈处理材料，这种处理方法在自动连续装置中只需 2min 就可完成，大大缩短了工艺处理时间，解决了生产上的关键问题。采用磷酸锌处理过的毛坯表面上附着脂肪润滑剂或肥皂水时，发现这种薄膜不易去除，且润滑性能也极其良好。在冷挤压钢方面，这个发现使人们找到了一种理想的表面润滑处理方法——磷化后再皂化处理法。这种表面处理方法，对钢的冷挤压工艺是一大创新，并一直沿用到现在。

第二次世界大战前夕，德国对弹壳的需求猛增，因当时黄铜原料不够，为了扩大弹壳的生产量，德国和美国都采用冷挤压成形方法制造钢制弹壳和弹体，并采用合金工具钢作为模具材料，成功地用冷挤压法生产了大批量的钢弹壳零件。

钢的冷挤压正式用于国民经济中各行业始于 1947 年。美国于 1949 年发表了关于各种钢材冷挤压前后力学性能的试验结果。德国于 1950 年发表了关于钢的冷挤压试验报告，得出了一些基本工艺的技术数据，并在 1953 年公布了关于钢的冷挤压力和挤压功的试验结果。日本于 1957 年引进专用冷挤压力机以后，在钟表等精密仪器工业中开始应用冷挤压加工。1990 年后在法国及日本等国家开发和研制了微型零件冷镦挤技术。由于这种技术的经济效益极其显著，不久，便在大批量生产的汽车、电器及纺织等工业部门中得到了广泛的应用。现在，这种技术已在机械零件制造业中成为一种极重要的加工手段，并遍及国民经济的各个工业领域。

在我国，新中国成立前冷挤压加工技术是极端落后的。当时只有极少数工厂用铅、锡等有色金属挤压牙膏管、线材和管材等。新中国成立后，冷挤压加工技术得到了发

展。20 世纪 50 年代开始进行铝、铜及其合金的冷挤压；20 世纪 60 年代因工业生产上需要，开始进行钢的冷挤压。近几年来，随着我国工业生产及现代科学技术的蓬勃发展，冷挤压技术也得到了迅猛发展。目前，已能对铅、锡、银、纯铜、无氧铜、黄铜、锡磷青铜、锌及其合金、纯铝、防锈铝、硬铝、锻铝、镍、可伐合金、坡莫合金、纯铁、普通碳素钢、低碳优质钢、中碳优质钢、碳素工具钢、低合金结构钢、轴承钢与不锈钢等金属材料进行冷挤压生产，甚至对高速钢等也可以进行一定变形量的冷挤压加工。现在可以制造的冷挤压件的品种是多种多样的，如各种台阶（或凸缘）轴类零件、空心轴类零件、杯形零件、双杯类零件、杯杆类零件、斜弯类零件、阶梯轴类零件、扁平及锥体类零件和齿形类零件等。

我国改革开放以来，引进了一些国外先进的模具钢种。在模具材料的使用方面，除了采用高碳高铬钼钢、高速钢、滚珠轴承钢、弹簧钢以外，还采用了不少新型模具钢以及硬质合金、基体钢、钢结硬质合金等。冷挤压模具的使用寿命已从一般可达 5000 ~ 50000 次增加到 400000 ~ 5000000 次。在模具结构设计方面，采用近代的最优化设计计算方法、CAD/CAM 系统以及数字化技术和专家系统，在保证强度、刚度等要求的前提下，充分发挥了模具材料的潜力。在模具制造方面，采用先进的快速造型技术，并采用先进的五轴高速数控加工，既快又能精密地制得所需的冷挤压模具。在冷挤压压力机方面，我国已拥有各级吨位挤压压力机的独立设计和制造能力。现在，除了经常采用的冷挤压压力机、通用机械压力机、液压机之外，我国还成功地采用摩擦压力机与高速锤进行冷挤压生产。

冷挤压工艺的发展方向主要有以下几个方面：

1）进一步扩大冷挤压的应用，在一定范围内逐步代替铸造、锻造、拉深、旋压、摆辗及切削加工。

2）除了上述所指的金属材料以外，进一步扩大可供冷挤压用的材料种类。

3）在合理许可的范围内提高每次冷挤压工序的变形量。

4）满足冷挤压零件形状的复杂性，使之可以成形更复杂的，甚至外形不对称的零件。

5）延长冷挤压模具的使用寿命。

6）提高冷挤压的生产率。

7）在小批量生产中扩大冷挤压的使用。

8）先进的智能化、敏捷化与数字化等现代技术在冷挤压生产中得到进一步应用。

为了达到上述这些目的，今后应从以下几方面进行深入的研究。

1）研究冷挤压成形时金属流动规律及应力应变关系。

2）探索冷挤压变形中的摩擦规律，搞清楚外摩擦对冷挤压变形的影响。

3）进一步研究可靠的精密下料方法，提高冷挤毛坯的尺寸精度和重量偏差。

4）寻找比磷化皂化更简便、经济效益更高的表面润滑处理方法。

5）研制开发更好的模具钢新材料及其热加工工艺方法。

6）深入研究有限元、优化设计以及计算机辅助设计等现代设计计算方法，推导出

更符合实际的单位挤压力计算公式，研制出更合理的模具结构。

7）继续探索模具结构的强度，寻找更可靠的检测方法，搞清凸模、凹模内部及表面的应力应变分布规律、凸模顶端表面应力与凹模内壁径向应力的关系。

8）继续开发、设计及制造多功能的冷挤压力机。

9）研究冷挤压大批量生产中采用的机械化、自动化装置及安全装置。

10）扩大冷挤压工艺，对于复杂外形的零件，除了镦挤、径向挤压及斜向挤压以外，发展冷模锻工艺的应用。

11）对于高合金钢及特殊合金零件，继续开展温挤压、静液挤压、高速挤压以及等温挤压等挤压新工艺新技术的研究。

第 2 章　冷挤压件的原材料及毛坯准备

冷挤压材料的组织、性能与质量是挤压生产中的重要问题之一。它不仅关系到产品的质量和性能，也直接影响着模具的寿命，在某种程度上决定着冷挤压加工的难易程度。

冷挤压加工方法的主要工艺特点是变形抗力大。为了使材料容易变形和减小模具应力，要求零件材料具有足够的塑性、最小的变形阻力、最高的不产生破裂的变形性能。同时，它还必须具有极好的可加性。为了达到这些基本的性能要求，对材料的力学性能、化学成分与表面质量等方面，都将提出严格的要求。

2.1　原材料的形态及其要求

2.1.1　原材料的形态

根据冷挤压件的形状、尺寸以及所采用冷挤压工序的不同，冷挤压用原材料的形态可分为：线材、棒料和板料三种。

1. 线材

线材主要作为镦挤螺栓之类零件的原材料。由于可以进行连续送料，因此生产率很高，但受冷挤压设备吨位以及过大的直径线材不能盘绕成卷捆状的限制，线材只能用于生产较小的零件。一般情况下，冷挤压所使用线材的直径为 $\phi3 \sim \phi25$mm，个别情况下，也有达 $\phi35$mm 的。

线材主要在连续多工位自动冷挤压机上加工，故材料利用率很高。但工序之间不能进行中间退火，端面的切断面也难以润滑，因此，模具工作部分的磨损较大。

2. 棒料

冷挤压生产中最常用的一种形态是棒料。棒料主要作为形状复杂、尺寸较大零件的原材料和用于非连续性生产。它与线材相比，生产率较低，但可以进行中间退火处理及表面润滑处理。

棒料的材料利用率也较高，采用锯切备料的材料利用率可达 70% ~90%，采用剪断备料是 100%。

由于当毛坯的长径比小于或等于 3/4 时，下料是困难的，因此，用棒料作为原材料，必须限制长径比不得小于 3/4。

3. 板料

当毛坯的长径比小于 3/4 时，必须选用板料作为原材料。由于板料多用冲裁法进行下料，因此，尺寸误差小，重量偏差小。但材料利用率较低，一般为 40% ~60%，故

经济效益较差。

2.1.2 对冷挤压材料的要求

冷挤压的材料主要根据工件规定或要求的强度来决定，另外，还应当考虑到材料所能达到的最大的变形程度和模具的使用寿命，以及是否需要多次挤压和特殊的设备等。因此，适合于冷挤压的材料，应当具有较高的塑性，不但冷态塑性好，而且变形时的硬化程度也不太强烈。随冷作程度的增加，变形阻力上升较慢些，这样的变形条件是最有利的。

通常认为，当材料同时具有低加工硬化速度和低硬度时，就具有最佳的冷挤压性能。材料的这种性质是由其成分所决定的，而材料的成分则又是根据对产品零件的要求来选择的。因此，必须使材料的成分合适，并采用适当的软化热处理，以达到经济效果最好。

目前，很多材料是可以冷挤压加工的，而适于冷挤压的材料主要为低碳钢、中碳钢和低合金钢。镍含量较大的各种钢种，一般不进行冷挤压加工，因为冷挤压这类钢的模具会剧烈磨损，并且需要很多加工工序和大型的专用冷挤压机。采用尽可能少的成形工序和中间退火工序，确保模具的使用寿命，冷挤压出满足产品性能和使用要求的最后形状，使其达到最大的技术经济效果，是确定冷挤压材料的基本原则。

由于冷挤压成形会产生显著的不均匀变形，因此，为了获得优质的冷挤压件，除了采取一些有效的工艺措施以外，还要求冷挤压件所用的原材料具有较高的质量和良好的性能。关于冷挤压件原材料的质量高低和性能好坏的评价问题，可以采用如下一些指标来衡量。

1. 材料的塑性

金属冷挤压同冷镦、冲压、锻造、轧制等压力加工工艺一样，都是利用金属材料的塑性。塑性是决定于变形过程中金属的综合性能、温度以及应力状态的特性。

很多研究表明，只要有适当的变形条件，包括合金钢在内的难变形材料的塑性可以得到很大的提高，就能使低塑性及形状复杂的零件冷挤压成形。因此，为了提高材料的塑性，要尽可能在较明显的各向压应力作用下进行冷挤压成形加工，而且要避免这样的变形方案，即在挤压件的个别部位产生显著的应力。因为拉应力所起的作用越大，且压应力所起的作用越小时，材料在变形时表现出的塑性越低。引起开裂的主要原因之一，就是在材料变形的个别地方出现拉应力。拉应力多数是在材料不与模具进行直接接触，或在具有一定的悬空情况下进行自由成形时产生的。因此，使工件与模具最大限度地接触，借助于接触压力所产生的附加压应力，可以大大提高变形材料的塑性。

随着碳含量的上升和合金成分的增加，材料的塑性减小，而强度增高。钢中碳的质量分数每增加0.1%，它的强度就提高60～80MPa。碳的质量分数大于0.3%以上的碳钢、合金钢及轴承钢、不锈钢等材料的塑性较低。铁的杂质和硫、磷含量可使塑性降低。因此，这些有害杂质含量应控制在一定的范围内（质量分数不大于0.035%）。

晶粒大小对冷挤压加工性能的影响有这样的一般规律：金属与合金的晶粒尺寸增加

时，它的强度降低，塑性和挤压性能提高。冷挤压材料的晶粒很小时，其塑性较低，弹性较高。过大的晶粒易使挤压零件的表面粗糙和经常引起裂纹。合理的晶粒平均直径为 $\phi0.02\sim\phi0.06$mm，同时要求材料有尽可能均匀的晶粒结构。

在工程应用上，材料的塑性可以用伸长率 A 和断面收缩率 Z 来衡量。虽然这两个指标不能全面地说明材料的塑性，但是它们是有应用价值的指标，并且容易确定。一般认为 A、Z 值越大，材料的塑性越高，冷挤压加工时的工艺性越好。

对纯铝 1070A、硬铝 2A11 和低碳钢（15 钢）三种材料的性能进行比较（见表 2-1），不难看出，纯铝是一种塑性很好的材料，它的伸长率 A 可达 35% ~40%，断面收缩率 Z 达到 70% ~90%，抗拉强度 R_m 也较低，只有 80 ~100MPa。它可以承受各种冷、热塑性成形加工。但是，当纯铝与铜、镁等组成多组元的合金后，组织与性能就将完全改变。如硬铝 2A11 的伸长率与断面收缩率就很低，甚至不如低碳钢。由于硬铝的伸长率小于 20%，故称为低塑性材料。硬铝合金冷挤压时虽然所需挤压力不大，变形也并不困难，但是冷挤压中极易产生开裂现象，这就是由于硬铝塑性较差的缘故。

表 2-1　各种材料的力学性能

材料牌号	抗拉强度 R_m/MPa	下屈服强度 R_{eL}/MPa	伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）	布氏硬度 HBW	备注
纯铝 1070A	80 ~100	30	35 ~40	70 ~90	25 ~30	退火
硬铝 2A11	380 ~420	240	15	30	100	淬火 + 时效
	210	110	18	38	60 ~70	退火
15 钢	360 ~380	220	28	55	110	退火

总之，塑性越高，材料的变形能力越好，越能承受较大的变形。对于塑性较低的材料，为了不超出极限变形程度，就可能要增加加工次数，减小每次加工的变形量。因此，塑性的高低是决定变形工序次数的主要依据。

材料塑性的高低可采用各种不同的试验方法来测定。其中最常用的是压缩试验法。它是通过测定压缩圆柱形试样直到试样外面发生裂纹的极限变形量（压缩率）来表示塑性高低的。由分析可知，影响塑性的因素较多。现考虑试样高径比、接触面的润滑条件以及模具的约束条件等因素的影响，采用压缩试验法求得 45 钢的极限压缩率，如图 2-1 所示。由图可知，当高径比 h_0/d_0 增大时，极限压缩率也增大，即塑性升高；而当润滑条件变坏时，极限压缩率就会下降，即塑性降低。

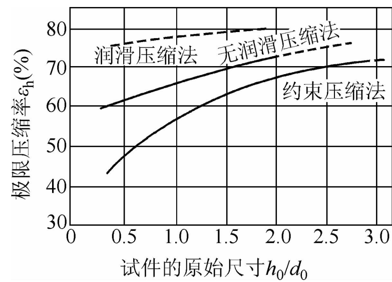


图 2-1　45 钢的极限压缩率

-----斜向裂纹　——纵向裂纹

2. 材料的变形抗力

材料的塑性和变形抗力标志着材料的变形性能。变形抗力就是材料塑性变形所需要的应力。冷挤压时材料的变形抗力越小，加工时所需的单位挤压力也越小。随着变形抗力的增加，材料的伸长率和断面收缩率都下降。当材料的变形抗力足够大时，就有可能引起模具或冷挤压设备损坏

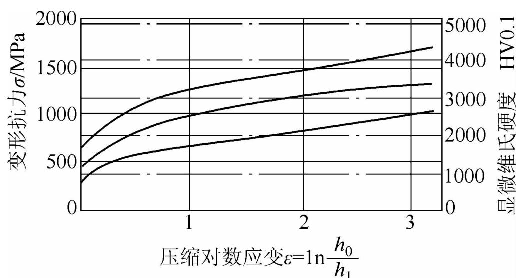
的危险。因此，材料变形抗力的大小是衡量能否进行冷挤压加工的决定性指标。例如，在当前的技术条件下，冷挤压碳的质量分数在 0.45% 以上的碳钢是困难的，这是由于这些碳钢的变形抗力较大，有可能超出模具的许用单位压力的缘故。

通常情况下，变形抗力随着变形程度的增加而变大。不同材料的变形抗力是截然不同的，有色金属及其合金挤压时的变形抗力就比较小。对于碳钢和合金钢来说，随着碳含量和合金元素含量的增加，变形抗力明显增大。随着变形程度的提高，有色金属及其合金变形抗力上升的幅度较小，而碳钢和合金钢都有明显的上升。

因此，冷挤压材料的变形抗力越小越好。通过改进模具结构，提高软化处理的效果，选用塑性较好、具有低硬化速度的材料，都可能达到冷挤压加工时变形抗力低的目的。

材料变形抗力的大小一般是用各种不同的试验方法测得的。普通的拉伸试验测得的强度指标和塑性指标预测成形性能是有困难的。例如，拉伸试验曲线的最大应变量受到出现细颈的限制，一般对数应变 $\varepsilon \approx 1$。而三向压应力状态的变形，其对数应变值往往超过 1 很多，因此要较精确地确定冷挤压（冷锻）时的金属变形抗力，就需要用压缩试验求出真实应力-应变曲线。压缩真实应力-应变曲线的应变量可达 $\varepsilon = 2$。压缩铜试件时，甚至可达 $\varepsilon = 8 \sim 9$ 的变形程度。

为了消除压缩时产生凸肚的影响，可以采用反复切削-镦粗试验方法，测得的各种碳钢的变形抗力曲线，如图 2-2 所示。图中纵坐标变形抗力 σ 是载荷除以试样的瞬时横截面积所得到的实际平均压缩应力；纵坐标 HV0.1 表示的是显微维氏硬度值。比较 σ 值与 HV0.1 值可知，HV0.1 值正好等于 σ 值的 2.5 倍。因此，原材料的变形抗力值一般可根据显微维氏硬度测定结果推算出来。从图 2-2 还可以看出：变形抗力值随压缩试验的进行而增大，因此，在考虑原材料变形抗力对冷挤压变形的影响时，应把变形抗力和加工硬化联系起来一并考虑。如对于 12Cr18Ni9 不锈钢等冷作硬化敏感性特别大的钢，采用一般的冷挤压方法加工是很困难的。



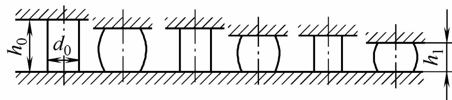


图 2-2　碳钢的变形抗力曲线与显微维氏硬度

3. 材料的加工硬化

冷挤压后，所有阻止金属变形的各项指标都有不同程度的增高：弹性极限增加 100% ~300%，抗拉强度增加 30% ~ 120%，硬度增加 60% ~ 150%，即金属产生了加工硬化现象。相反，塑性指标都有所下降：伸长率减小 20% ~90%，断面收缩率减小 20% ~60%。变形程度不同的挤压加工过程，硬化程度也是不同的。加工硬化的材料变得硬而脆，塑性变形的能力降低，也就是说，加工硬化会阻碍金属的继续变形。

但是，如果这一变化比较缓慢，即随冷作硬化程度的增加，变形阻力上升较慢，强度、硬度上升和断面收缩率、伸长率下降的幅度都不大，即冷挤压时显示出不大的应变

硬化性。这样，继续变形又将成为可能，而使金属达到较高的变形程度。这一点在选择材料时是很重要的。

因此，选择时效硬化敏感性较小和具有低加工硬化速率的材料，对冷挤压变形是十分有利的。低的加工硬化指数被认为是良好的可成形的指标。

4. 材料表面质量

材料的表面缺陷对冷挤压件的质量影响很大。这是由于冷挤压加工与切削加工不同，冷挤压时，材料的表面缺陷会保留或扩大成冷挤压件的表面缺陷。

为了避免冷挤压时表面开裂，提高挤压件的表面质量，良好的材料表面状态是十分重要的。普通热轧棒料的表面大多数不能满足冷挤压工艺的特殊要求，冷挤压生产一般用冷拉优质结构钢和深冲钢等。为了提高挤压件的尺寸精度和降低表面粗糙度，采用表面磨光的材料较为有利。材料的表面缺陷，如杂质、夹灰、擦伤、裂纹等，一般都零星地遍布在材料表面上，即使是合格的材料，加工时也难免产生缺陷。因此，应需加强对材料的检查和验收。

为了查明材料表面有无缺陷，以及确定金属的冷挤压变形性能，通常采用冷镦粗试验、冷扭曲试验或腐蚀试验等进行鉴别。冷镦粗试样时，表面有深痕，内部有叠层、裂纹和夹灰的材料就会充分地暴露出来。

材料的表面缺陷容许极限是根据材料的种类、零件形状和用途等具体情况，按照实践经验来决定的。表面缺陷对镦挤工序的影响最大。一般来说，当材料表面缺陷深度大于 0.1mm 时，冷挤压时易使之扩大为裂纹。因此，当表面缺陷的深度大于 0.1mm 时，应当设法消除。

材料表面的脱碳对冷挤压件的质量和性能影响也较大。对钢在冷挤压前的退火处理，当加热到 720°C 以上时有可能产生表面脱碳的危险。脱碳层深度的一般要求是：脱碳环状面积为相应处横断面积的 5% 以下。表面脱碳层的最大允许深度如表 2-2 所示。

表 2-2　脱碳层的最大允许深度　　（单位：mm）

材料直径	<6	6 ~ 7	7 ~ 8	8 ~ 9	9 ~ 10	10 ~ 12	12 ~ 14	14 ~ 20
最大允许脱碳层深度	0.08	0.09	0.10	0.11	0.125	0.15	0.18	0.20

冷挤压工艺对材料表面的基本要求是：表面应洁净、光滑，不应有发裂、气泡、划伤、氧化皮等缺陷，并且钢的断口和酸洗试片的组织不应有分层、缩孔、非金属夹杂物和白点等。

5. 材料的组织状态

晶粒大小和状态对于冷挤压变形能力的影响较大。对于碳钢冷挤压来说，随着碳含量的增加，材料的变形能力随之降低。即使是相同的材料，当经过适当的热处理造成不同的内部组织时，其塑性也会不同。图 2-3 表示的就是碳钢在不同组织状态时，裂纹发生率与压缩率的关系。由图可知，当压缩率相同时，曲线 1 组织的裂纹发生率比曲线 2 组织的大；当裂纹发生率为零时，曲线 1 组织的压缩率为 70% 以上，曲线 2 组织为 65% 以上，曲线 3、曲线 4 组织各为 50% 左右。

应注意的是：仅从冷挤压性能来看，应以球化组织为最好；但从冷挤压后的切削加工性能方面来考虑，则以退火后的组织为最佳。因此，应综合考虑多方面的因素，选择合适的组织状态。

为了使钢材能更好地适应冷挤压的要求，对于钢材的结构、晶粒的形式与大小、夹杂物分布等都有一定的要求。

（1）晶粒形式　冷挤压的钢材需要有尽可能均匀的、球形的晶粒结构。对第一道冷挤压工序或中间冷挤压工序来说，这种晶粒结构都是最理想的。

（2）晶粒分布　钢材组织中除了铁素体以外，还有珠光体。碳含量越高，珠光体的数量越多。铁素体是软的基体，在软的基体中嵌有硬的珠光体颗粒。

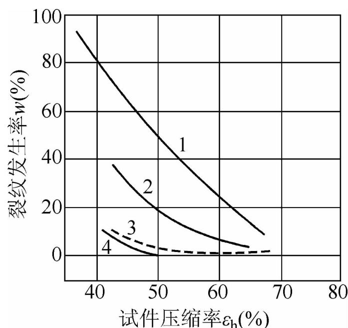


图 2-3　压缩率对裂纹发生率的影响
1—退火粗晶粒组织　2—退火细晶粒组织　3—球化微细晶粒组织　4—调质微细晶粒组织

（3）晶粒大小　钢材晶粒的大小对冷挤压也有一定的影响。晶粒太小，会使挤压力增大；晶粒太大又会使表面粗糙，发生明显的伤痕与裂纹。

冷挤压钢材合理的晶粒大小范围如下：

晶粒平均直径≈ϕ0.02 ~ ϕ0.06mm

每平方毫米的晶粒数≈250 ~ 2300 个

晶粒的平均面积≈400 ~ 4000μm^2

（4）非金属夹杂物的分布　无论用什么方法冶炼的钢材，总会含有或多或少的非金属夹杂物。夹杂物的大部分是氧化物或硫化物，它们使金属原来紧密的晶粒结构发生间断。因此，夹杂物的数量、形式和分布情况对钢材的冷挤压性能有很大影响。

一般来说，细的、均匀分布的夹杂物危害不大，而粗的或细而局部集中的夹杂物则是很危险的。

冷挤压毛坯大多采用经过轧制的棒料或板料，在轧制过程中，这些夹杂物已沿变形方向被拉长了。

夹杂物的形式对冷挤压的影响较大。硫化物的夹杂物可以较好地随着变形方向变形，因此，较其他一些夹杂物的危害要小。氧化铝夹杂物，很难与钢的基体结合在一起，危害很大。

6. 毛坯的尺寸精度

毛坯的尺寸精度不仅影响到挤压件的尺寸精度，而且对模具的使用寿命及压力机的精度也有直接影响，因此，应严格保证毛坯的尺寸精度。

毛坯的几何形状应对称，以保证冷挤压过程中能均匀地产生变形，避免产生应力集中的现象。毛坯端面与轴线的垂直度误差最大应不超过 0.1mm，对于空心毛坯壁厚偏差也不应超过 0.1mm。

7. 硬铝棒料粗晶环对冷挤压的影响

当使用硬铝棒料作为冷挤压的原材料时，需要注意硬铝棒料粗晶环对冷挤压的影响。经淬火的硬铝棒料，常存在粗晶环组织。由于硬铝棒料由热挤压制成。在热挤压时，由于金属材料与挤压筒壁之间的摩擦，再加上金属与凹模之间的摩擦，结果使金属表面的晶体受到了很大的破碎，这种破碎的表面晶体存留在挤出来的棒料上，其厚度由棒料始端（最先挤出的一端）至末端（靠近挤压垫的一端）是逐渐增加的。棒料如果在热挤压以后，再进行热处理，经过集中再结晶后的晶粒大小，与原有的实际的变形程度有关。这样，硬铝棒料经热处理后，在其外层形成了大晶粒的结晶壳层，称为粗晶环。其厚度是由始端到末端逐渐增加的。

由于硬铝棒料存在粗晶环组织，所以在冷镦以后，外表面会出现明显的凸凹不平，呈严重的橘皮状。如经整形，外表面也无法填平。在经过剧烈的冷挤压变形后，可能沿晶间有开裂现象发生。

因此，用于冷挤压的硬铝棒料应将粗晶环限制到最低程度，同时不宜采用细料经冷镦来制取冷挤压毛坯。

2.2　冷挤压用材料

冷挤压用材料应具有良好的塑性、较低的变形抗力和加工硬化敏感性。冷挤压材料的选择是挤压生产中重要问题之一。它不仅关系到产品的质量和性能，也直接影响着模具的使用寿命，在某种程度上决定着冷挤压加工的难易程度。

随着现代工业的发展，大吨位专用挤压机及新型模具材料的出现，供冷挤压的材料范围越来越宽，材料品种也逐渐扩大。许多低塑性和高强度材料，也可在一定的变形程度内进行冷挤压加工。目前，国内外用于冷挤压的金属材料见表 2-3。

表 2-3　用于冷挤压的金属材料

材料名称		材料牌号
铅、锡、银及其合金		
锌及锌镉合金		
铝及铝合金	纯铝	1070A，1060，1050A，1035，1200
	防锈铝合金	5A01，5A02，5A03，5A05，3A21
	硬铝合金	2A01，2A02，2A04，2A06，2B11，2B12，2A10，2A11，2A12，2A13
	锻铝合金	2A50，2A14
	超硬铝合金	7A09
铜及铜合金	纯铜	T1，T2，T3，T4
	无氧铜	TU1，TU2
	黄铜	H62，H68，H70，H80，H85，H90，H96
	锡磷青铜	QSn6.5-0.15

（续）

材料名称			材料牌号
镁合金			Mg99.50，Mg99.00，AZ41M，AZ61M
镍及镍合金	纯镍		N2，N3，N4，N5，N6
	镍铜合金		NiCu70-30
电工纯铁			DT1，DT2
钢	普通碳素钢		Q195，Q215，Q235，Q275
	优质碳素结构钢		08F，15F，08，10，15，20，25，30，35，40，45，50，15Mn，16Mn，20Mn
	深冲钢		S10A，S15A，S20A
	合金结构钢		20MnV，20MnB，15Cr，20Cr，30Cr，40Cr，45Cr，15CrMo，20CrMo，30CrMo，35CrMo，42CrMo，12CrNi2，12CrNi3A，12CrNiTi，30Mn2，30CrMnSi，35CrMnSi，30CrMnSiA，40CrMnMo，40CrNiMo，18CrMnTi
	不锈钢	铁素体系	10Cr17
		马氏体系	06Cr13，12Cr13，20Cr13，30Cr13，14Cr17Ni2
		奥氏体系	06Cr19Ni10，12Cr18Ni9
	轴承钢		GCr9，GCr15
	碳素工具钢		T8，T9
	高速钢		W18Cr4V

此外，对于钛与某些钛合金、钽、锆以及精密合金、坡莫合金都可以进行冷挤压加工。

常用于冷挤压的材料主要是有色金属及其合金，碳的质量分数在0.2%以下的低碳钢和低合金钢。

2.2.1　有色金属

冷挤压加工是从有色金属开始的，这是由于有色金属冷挤压不像钢材冷挤压那样复杂，单位挤压力也较小。但随着含合金元素的增加，冷挤压性能变差，因此，应根据合金元素的不同含量来确定材料的冷挤压工艺性。

1. 纯铝

工业用纯铝1070A、1060、1050A、1035、1200、8A06等，w(Al) 高达99%以上，属面心立方晶格的纯金属，共有4×3个=12个滑移系，是一种很理想的冷挤压材料。它不仅变形抗力小，塑性好，且变形时几乎不产生加工硬化，因此模具的使用寿命较长，是一种冷挤压性能良好的材料。常用于冷挤压的工业纯铝的主要化学成分及力学性能见表2-4。

2. 变形铝合金

冷挤压用变形铝合金主要有防锈铝、硬铝、锻铝等。

表 2-4　常用于冷挤压的工业纯铝的主要化学成分及力学性能

牌号	主要化学成分（质量分数,%）		力学性能					
	Al	杂质	状态	抗拉强度 R_m/MPa	下屈服强度 R_{eL}/MPa	伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）	布氏硬度 HBW
1070A	99.7	0.3	退火	70～110	50～80	35	80	15～25
1060	99.6	0.4						
1050A	99.5	0.5						
1035	99.3	0.7	加工硬化	150	100	6	60	32
1200	99	1.0						
8A06	98.8	1.2						

（1）防锈铝　5A02、5A05、3A21 是属于 Al-Mn 和 Al-Mg 系防锈铝合金，也是一种较为理想的冷挤压材料，其强度低，塑性高，冷挤压性能良好。但是具有较高的硬化倾向，不能进行热处理，主要靠冷作硬化来提高强度。常用于冷挤压的防锈铝合金有 5A02 和 3A21，其化学成分及力学性能见表 2-5。

表 2-5　5A02 和 3A21 的化学成分及力学性能

牌号	主要化学成分（质量分数,%）			状态	力学性能				
	Mg	Mn	Al		抗拉强度 R_m/MPa	下屈服强度 R_{eL}/MPa	伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）	布氏硬度 HBW
5A02	2～2.8	0.15～0.4	97.85～96.8	退火	190	80	23	64	45
				半硬	250	210	6	—	60
3A21	0.05	1～1.6	99～98.4	退火	130	50	23	70	30
				硬化	220	180	5	50	55

（2）硬铝　2A01～2A11、2A12 等是属于 Al-Cu-Mg 系硬铝合金，其中 2A11 为标准硬铝，2A12 为高强度硬铝。目前应用较多的就是这两种硬铝。与纯铝、低碳钢比较，硬铝塑性较差，挤压强化效果不甚显著，且极易产生裂纹。因此，必须加强软化和润滑处理，制订不产生拉应力的最合理的变形条件和工艺方案。硬铝 2A12 既含有 Cu，又含有 Mg，形成数量较多的 Al_2CuMg（s 相）及 $CuAl_2$（θ 相）脆性化合物。因此，2A12 比 3A21 难以冷挤压加工。2A11 和 2A12 的化学成分及力学性能见表 2-6。

表 2-6　2A11 和 2A12 的化学成分及力学性能

牌号	主要化学成分（质量分数,%）					状态	力学性能		
	Cu	Mg	Mn	杂质总和	Al		抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 A（%）	布氏硬度 HBW
2A11	3.8 ~ 4.8	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 0.8	1.8	余量	退火	<240	12	55 ~ 65
						淬火	380 ~ 420	8 ~ 12	95 ~ 110
2A12	3.8 ~ 4.9	1.2 ~ 1.6	0.3 ~ 0.9	1.5	余量	退火	<240	12 ~ 14	55 ~ 65
						淬火	440 ~ 470	8 ~ 12	110 ~ 120

（3）锻铝　2A14 是属于 Al-Cu-Mg-Si 系锻铝合金，是一种高强度铝合金，与硬铝比较，硅含量较高，质量分数为 0.6% ~1.2%。硅可使 2A14 合金在热处理状态下的强度增加，淬火和人工时效后强度可达 470MPa，比 2A11 高 50MPa 以上。但是塑性却不及 2A11，尤其是冷态下的塑性较差，容易形成裂纹。因此，在加工锻铝合金时，要特别注意软化效果及工艺变形条件。2A14 的化学成分及力学性能见表 2-7。

表 2-7　2A14 的化学成分及力学性能

牌号	主要化学成分（质量分数,%）					状态	力学性能			
	Cu	Mg	Mn	Si	Al		抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）	布氏硬度 HBW
2A14	3.9 ~ 4.8	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 1.0	0.6 ~ 1.2	余量	退火	190 ~ 215	10 ~ 15	43.5	62 ~ 65
						淬火时效	≥460	≥10	25	≥130

3. 纯铜和无氧铜

纯铜和无氧铜属于具有面心立方晶格的纯金属，和纯铝一样是一种冷挤压加工性能极好的材料。其软化状态的强度只有 210MPa 左右。

4. 铜合金

由于工业纯铜的强度不高，限制了它作为结构材料使用。为了使铜具有一定的强度、韧性、耐磨性、导电、导热和耐蚀性等性能，在铜中加入了各种合金元素，如锌、锡、锰、铝、硅等。以锌为主要合金元素的铜合金称为黄铜；以锡为主要合金元素的铜合金称为青铜。

（1）黄铜　黄铜分为普通黄铜和特殊黄铜两类。

普通黄铜是铜锌二元合金。Zn 加入 Cu 中，对 Cu 的力学性能有很大影响，如图 2-4 所示。由图可知，当黄铜中锌含量 w(Zn) 少于 39% 时，Zn 溶解于 Cu 中形成面心立方晶格的置换固溶体 α，α 固溶体很软，塑性很高。当黄铜中加入的锌量 w（Zn）超过 39% 时，便出现了硬脆的具有体心立方晶格的 β 相，它是以化合物 CuZn 为基具有体心立方晶格的固溶体，使伸长率 A 急剧下降，但抗拉强度 R_m 仍然增高。当锌含量 w(Zn) 大约为 45% 时，R_m 达到极大值。若再增加锌含量，黄铜中便出现更加硬脆的 γ 相，它

是以化合物 Cu5Zn8 为基的具有复杂立方晶格的固溶体，此时，黄铜的 R_m 急剧下降，因此，锌含量 w(Zn) 超过 45% 的铜锌合金是没有实用价值的。从上述分析可知，锌含量 w(Zn) 不超过 39% 的黄铜 H62、H68、H70 等均适宜于进行冷挤压加工。用于冷挤压的铜及其合金的化学成分及力学性能见表 2-8。

（2）青铜　青铜的种类较多，一般按铜中含合金元素的种类来命名。例如，含 Al 的青铜叫铝青铜，含 Sn 的青铜叫锡青铜。在目前的技术条件下，冷挤压青铜是比较困难的。不过，冷挤压加工已获得成功的是锡磷青铜 QSn6. 5-0. 15。这是由于这种锡磷青铜中的磷可以去氧，消除了极端硬而脆的化合物 SnO_2 的有害作用，使这种锡磷青铜的力学性能和工艺性能都较好，因此适宜于进行冷挤压加工。

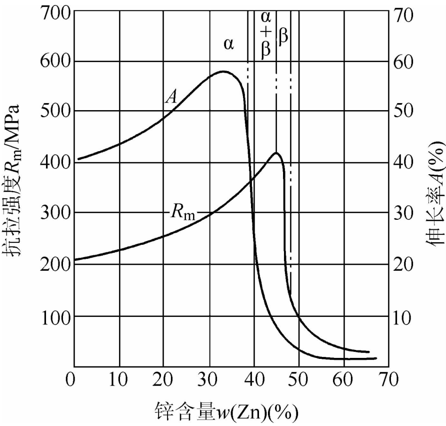


图 2-4　锌对黄铜力学性能的影响

表 2-8　冷挤压用铜及其合金的化学成分及力学性能

名称	牌号	主要化学成分（质量分数,%）			状态	力　学　性　能		
		Cu	Zn	杂质总和		抗拉强度 R_m/MPa	断面收缩率 Z（%）	布氏硬度 HBW
纯铜	T1	99. 95			退火	210 ~ 230	47. 5 ~ 50	40 ~ 50
纯铜	T2	99. 9			退火	210 ~ 230	47. 5 ~ 50	40 ~ 50
纯铜	T3	99. 7			退火	210 ~ 230	47. 5 ~ 50	40 ~ 50
黄铜	H62	60. 5 ~ 63. 5	39 ~ 36	0. 5	退火	300 ~ 350	30 ~ 40	50 ~ 60
黄铜	H68	67 ~ 70	30 ~ 32	0. 3	退火	300 ~ 320	30 ~ 45	45 ~ 55

5. 其他有色金属

纯镍可以进行冷挤压，但容易与模具粘附。因此，冷挤压前最好在镍的表面镀铜，镀层厚度约为 0. 02mm，并用氯化石蜡作为润滑剂。多道工序冷挤压时，应在带保护气体的电炉中进行中间退火。每次退火后，必须重新镀铜。

镍铜合金 NiCu70-30 也可以进行冷挤压加工。

纯钛可以进行冷挤压，但所需的单位挤压力较高。冷挤压前，毛坯要进行氟-磷酸盐表面处理，再用石墨、二硫化钼或合成树脂润滑。

锌合金如锌镉合金的挤压广泛用于干电池制造业。但不宜进行室温中的冷挤压，而应将锌镉合金加热至 100°C 左右，保温 30 ~ 60min 后再进行挤压较为合适。挤压时多用羊毛脂或硬脂酸锌作润滑剂。

镁及其合金不适宜于在室温中进行挤压，必须将毛坯加热至 230 ~ 370°C 时，才可以进行挤压加工。

2.2.2　钢

目前冷挤压生产中，所用的钢种大致可分为如下三类：

（1）具有可成形性的钢　对这种钢的要求主要是它的可成形，不要求有良好的挤压强化效果。这类钢主要指碳含量 w(C) 在 0.1% 以下的普通碳素钢。

（2）要求通过成形工艺来提高零件力学性能的钢　几乎碳含量 w(C) 在 0.2% 以上低碳、中碳的优质结构钢和合金结构钢都可通过加工硬化来达到这一目的。

（3）要求通过热处理来提高零件力学性能的钢　当产品零件要求的强度比冷挤压所能获得的强度更高时，或对整个横截面上的强度都要求很严格时，必须进行热处理。如自行车变速轴及摩托车发动机中的一些带有棘齿类的套筒零件，多采用 20Cr 和 40Cr 等低合金结构钢，挤压后一般仍达不到性能要求，尚需进一步进行热处理。对于这种材料，要求在热处理时具有较高的淬透性，但是要能够适当软化，以减小挤压力。

几乎凡是可以热锻的钢都可以进行冷挤压，但是由于受到模具和设备的限制，能够用于冷挤压的钢种，一般只能采用碳含量 w(C) 在 0.5% 以下的中碳钢和低碳钢，以及碳含量 w(C) 在 0.5% 以下的低合金钢。实际生产中，广泛采用的是碳含量 w (C) 在 0.2% 以下的低碳钢和低合金钢。表 2-9 列出了目前可进行冷挤压加工的一些钢材的牌号、化学成分及力学性能。

表 2-9　冷挤压用钢材的化学成分及力学性能

名称	牌号	主要化学成分（质量分数,%）						力学性能				备注
		C	Mn	Si	P	S	Cr	抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）	布氏硬度 HBW	
优质碳素结构钢	10	0.07 ~ 0.14	0.35 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	≤0.035	≤0.04	—	340 ~ 360	43 ~ 40	60	107 ~ 110	软化状态
	15	0.12 ~ 0.19	0.35 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	≤0.04	≤0.04	—	360 ~ 380	38 ~ 40	55 ~ 60	109 ~ 121	
	20	0.17 ~ 0.24	0.35 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	≤0.04	≤0.04	—	390 ~ 420	28 ~ 32	55	121 ~ 131	
合金结构钢	15Cr	0.12 ~ 0.18	0.4 ~ 0.7	0.17 ~ 0.37	—	—	0.7 ~ 1.0	450	20	40	128	
	20Cr	0.17 ~ 0.24	0.5 ~ 0.8	0.17 ~ 0.37	—	—	0.7 ~ 1.0	850	10	40	133 ~ 138	
	40Cr	0.37 ~ 0.44	0.5 ~ 0.8	0.17 ~ 0.37	—	—	0.8 ~ 1.1	≥1000	≥9	≥45	156	
深冲钢	S10A	0.06 ~ 0.12	0.25 ~ 0.5	≤0.1	≤0.03	≤0.035	—	300 ~ 400	46 ~ 50	55	137	
	S15A	0.12 ~ 0.18	0.25 ~ 0.5	≤0.1	≤0.03	≤0.035	—	340 ~ 450	44 ~ 48	55	143	
	S20A	0.16 ~ 0.22	0.25 ~ 0.5	≤0.1	≤0.03	≤0.035	—	380 ~ 500	≥26	55	156	

2.3　冷挤压毛坯的制备

毛坯制备是从毛坯的下料开始到制备出符合冷挤压工艺要求的毛坯为止的过程。

2.3.1　毛坯的下料方法

选择毛坯的下料方法时，应考虑生产要求、所需设备的条件和成本、模具和维修费用、材料变为废屑的损耗、加工费用、所需工序（如去毛刺、校形和退火工艺等）次数以及其他因素。毛坯的尺寸、形状、材料、需要保持的精度和生产方法也是影响下料方法选择的重要因素。

冷挤压毛坯最常用的下料方法有锯切、车切、冲裁、剪切等。

1. 锯切

一般来说，所有的材料均可锯切。直径较大的毛坯，锯切比剪切更为实用。此法又分为弓锯锯切、圆盘锯锯切和带锯锯切三种。圆盘锯锯切的优缺点是：尺寸精确，材料利用率和生产率都较低，所以过去只有在批量小、坯料直径较大时才采用。锯切后的毛坯边缘必须去除卷边毛刺和硬棱，并进行倒角或倒钝。

目前，带锯锯切获得较广泛的应用。带锯机如同数控机床一样获得迅速的发展和广泛的应用。美国 Doall 公司认为，金属带锯机已是与车床、铣床、刨床、钻床、镗床、磨床并肩媲美的第七种基本加工机床。现在国内外都已能生产一系列的半自动、全自动带锯机。锯切长度精度可达（±0.13～±0.25）mm，断面的表面粗糙度 Ra 为 1.6～12.5μm，端面垂直度在锯切直径 ϕ10mm 的棒料时不超过 0.2mm，端面平整，无弯曲、压塌等缺陷。

带锯锯切与圆盘锯锯切相比，下料的切口损失小，带锯锯口一般为 0.65～1.5mm，仅为圆盘锯下料锯口的 1/8～1/5。电能消耗小，大约仅为圆盘锯的 1/6，成本低廉。国内某工厂采用带锯取代圆盘锯后，每年节约 30% 的锯切费用，费用仅占新的圆盘锯片和重磨圆盘锯片费用的 50%。而且，生产率与圆盘锯的切割速度相当或略高，切割效率为 45～260cm^2/min。

另外，由于带锯锯切的断面比较平整，一般不需整形，可直接进行挤压。

2. 车切

在车床上或装有普通车刀的多轴自动机上下料，一般是令人满意的。用这种方法可制出尺寸和重量相当准确的毛坯。一般来说，尺寸精度可达 ±0.05mm，表面粗糙度 Ra 可达 1.6～6.3μm，几何形状比较规则，端面平整光洁的毛坯，可以直接用于冷挤压加工。但是加工效率不及剪切和冲裁，而且材料利用率也比较低，一般只有 70%～90%。因此，这种车切方法主要用于单件小批量生产及大直径扁平状的毛坯下料，或试制用毛坯的下料。

3. 板料冲裁

只有在毛坯直径比其高度大很多倍的时候（至少应在 3 倍以上），冲裁下料才被认

为是生产毛坯较为经济的方法。这种下料方法主要优点是生产率高，精度高，端面平整，不需要整平工序。但材料利用率较低，一般只有 40% ~60% 。

切断面在挤压后变成了零件的表面，因此，要求其平整、光滑，表面粗糙度 *Ra* 在 1.6μm 以下。但是，冲裁是在拉应力作用下进行的，必将产生撕裂，破断面显得很粗糙。所以，一般冲裁件不仅表面粗糙度大，而且精度、垂直度、平整度也低，满足不了挤压工艺要求。为了获得理想的冲裁表面，可以采用极小的间隙，以抑制拉应力的发生，使冲裁变形区处于三向压应力状态。要获得这种应力状态，有如下四种光洁冲裁方法：①精密冲裁；②负间隙冲裁；③带椭圆角凹模的光洁冲裁；④带圆角凹模的光洁冲裁。从模具结构、采用设备及材料应用范围等方面衡量，最后一种方法和所用模具最为简单，冲裁质量也容易控制。

（1）精密冲裁（见图 2-5a）　在强力齿圈压板 2 和反向压板 5 压住板料 3 的情况下进行，这样就可避免普通冲裁过程中由拉应力所产生的撕裂现象，从而大大改善冲裁条件，提高冲裁质量。精密冲裁时，凸模与凹模的间隙在 0.005 ~0.01mm 之间，凹模刃口带圆角。能冲出表面粗糙度 *Ra* 为 0.1 ~0.2μm，精度达到 IT7 级的冲裁件。这种冲裁方法适用范围广，不但能冲较软的材料，而且也可冲低合金钢、不锈钢和高碳合金钢。但是，它必须有较大的压边力 P_2 和反顶力 P_3，因此，精密冲裁必须在专用压力机或专用模具上进行。

（2）负间隙冲裁（见图 2-5b）　这种冲裁方法实际上是冲裁的一种发展。凸模尺寸比凹模尺寸大 0.1 ~0.2mm，冲裁时凸模不进入凹模，离凹模表面有 0.1 ~0.2mm 的距离（*H*）。凹模刃口有 0.5 ~1.0mm 圆角半径（*R*），凸模刃口锋利。由于凸模大于凹模，冲裁时造成局部三向压应力状态，因此，冲裁件表面粗糙度较低，*Ra* 在 0.8μm 以下，精度达 IT8 级。这种冲裁方法只适用于有色金属及其合金。它的缺点是：除工件有圆角、翘曲和毛刺外，软金属件还将产生挤薄现象。

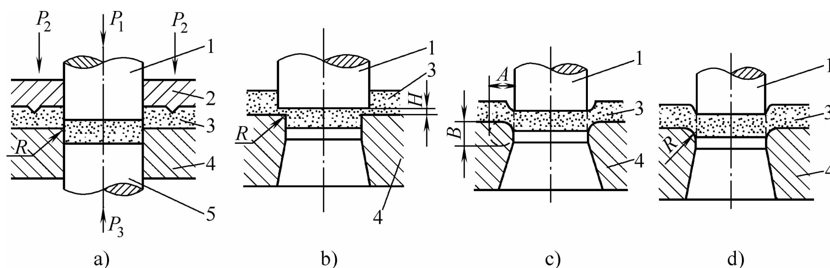


图 2-5　光洁冲裁方法

a）精密冲裁　b）负间隙冲裁　c）带椭圆角凹模的光洁冲裁
d）带圆角凹模的光洁冲裁
1—冲裁凸模　2—齿圈压板　3—板料　4—冲裁凹模　5—反向压板

（3）带椭圆角与带圆角凹模的光洁冲裁（见图 2-5c 和图 2-5d）　这两种冲裁方法的特点是间隙很小，通常双面间隙在 0.02mm 以内，而且间隙大小与被冲材料的厚度无关。凸模刃口锋利，凹模刃口带有圆角半径 $R=(0.4\sim0.6)t$（t 为板料厚度，mm），或椭圆角，其高度 $B=(1.0\sim1.5)t$，在模口平面上的宽度 $A=(0.1\sim0.2)t$。

由于间隙较小，能够最大限度地减少弯曲变形，并使拉应力数值减小，因此，在冲裁中，材料自始至终是塑性变形。再加上圆角半径对材料的径向挤压作用，可使冲裁时应力分散，从而避免在凹模刃口处产生集中剪应变，而使裂纹只发生在凸模锋利的刃口上。而且，产生的裂纹是向废料方向延伸，不影响切断面的质量和精度。冲裁时，由于材料是被均匀地挤入凹模孔内的，与此同时纤维被拉长，并在间隙中被压平，结果形成平滑且光洁的垂直剪切面，表面粗糙度 Ra 小于 0.8μm。

当然，影响冲裁过程和质量的重要因素是圆角的大小。圆角小时，切断面出现撕裂、多肉及连皮现象；圆角过小时，切断面的中间部位会出现明显凹进的粗糙环圈，冲挤后零件的外表面便会产生网裂，且影响电镀质量。

4. 剪切

剪切是生产毛坯方法中最迅速和最经济的一种，常用来生产中小尺寸直径的毛坯。剪切时，几乎没有材料损耗，生产批量越大，剪切下料的优越性越高。但是，剪切的毛坯是偏心的，而且边缘变形，必须通过校形才能使毛坯形状规则，尺寸精确。

棒料剪切通常有热切和冷切之分。在室温状态下进行剪切，叫冷切；将棒料加热到一定温度后进行剪切，叫热切。

材料抗拉强度在 600MPa 以下，直径不大于 ϕ40mm 的各种低碳钢和中碳钢均可采用冷切。棒料直径在 ϕ40mm 以上时，为了提高剪切断面质量，降低剪切力，有时为了解决设备功率不足的问题，采用热切的方法。加热温度取决于材料性能和棒料直径。低碳钢通常预热到 250～450°C，此时棒料表面呈现蓝色，脆性增强，故此种状态下的剪切称为蓝脆下料。剪切某些合金钢时，为了防止端面裂纹，也要预热到 450～550°C。为了改善铝合金剪切断面的质量，通常加热到 380～400°C，经空冷后再进行剪切。退火状态的铝合金棒材，可以不必加热而直接进行剪切。

剪切下料即可采用专用的棒料剪切机，也可以采用剪切模具在普通压力机上进行。剪切下料的方法有如下几种：

（1）一般剪切法　要得到理想的毛坯，有以下几个基本方面，在选择模具或设计剪切工艺时应予以考虑。

1）硬材料通常要比软材料好切。因此，棒料及其本身的特性是很重要的因素。毛坯有许多疵病。这些疵病有的能减少，有一些却消除不了。

2）毛坯的长度与直径之比应尽可能大，小于 1∶1 则很难剪切好。

3）棒料在剪切前本身的弯曲度，即使很微小，也会影响毛坯质量。

4）对于同样材料的毛坯，其剪切质量主要取决于剪切速度及模具间隙。剪切速度高，质量通常较好。

5）模具应刚硬，刃口锋利。

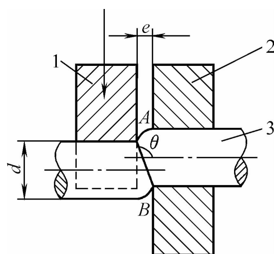


图 2-6　开式剪切模具
1—活动切刀　2—固定切刀
3—棒料

一般剪切法是在开式模具内进行剪切，如图 2-6 所示。半月牙形切刀，首先将棒料的端头压塌变形，因上下剪刃

之间有一定的间隙，其上下应使上、下剪裂纹重合一线，所以棒料剪断面出现了明显倾斜，此时剪切面 AB 和棒料水平轴线成 θ 角，此角大于 90°而小于 97°。因此，此方法是不能满足冷挤压工艺要求的。

（2）全封闭剪切法　目前棒料下料一般是在压力机上使用全封闭剪切模，如图 2-7 所示。它安装在机械压力机上，依靠上压头 7 推动滑块 8 及活动剪口 9 向下运动，将棒料 11 剪断。剪切完毕后依靠斜块 1、滑轮 2 将弹簧 5 压缩，待滑块运动至下死点，则通过打料销 6 将已剪切好的毛坯弹出，滑块依靠复位弹簧 14 回复到原始位置，开始下一次的送料，再次重复以上的动作。剪切后毛坯的外表质量与其工艺参数有关：剪切口平面的间隙为 0.2 ~ 0.3mm，固定剪口 12 与棒料的间隙为 0.1mm，活动剪口 9 与棒料的间隙为 0.2mm。如果剪口之间的间隙过大，将使断口不平整，使断面倾斜；但间隙过小，则又会影响滑块 8 的复位。剪口与棒料之间的间隙应在保证送料畅通的前提下，尽量取较小的数值，若间隙过大，将会使剪坯塌头过大。

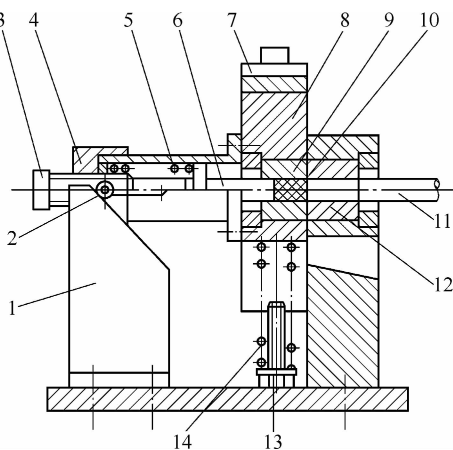


图 2-7　全封闭剪切模

1—斜块　2—滑轮　3—定位螺钉　4—推簧阀　5—推料弹簧　6—打料销　7—上压头　8—滑块　9—活动剪口　10—毛坯　11—棒料　12—固定剪口　13—限位螺钉　14—复位弹簧

这种全封闭剪切方法的优点是生产率高，剪切速度为 30 ~ 40 次/min，材料利用率高，有时可达 100%；缺点是毛坯形状不规则，如图 2-8 所示。毛坯的形状产生了歪扭：圆度误差 x 为 0.5mm，端面平面度误差 y 为 0.6mm，重量误差为 1% 左右。剪口 9 与 12 的材料为 Cr12Mo 模具钢，淬火后硬度为 58HRC 时，寿命约为 30000 件。若将刃口回火温度升高到 500°C，提高其韧性，硬度为 53 ~ 55HRC，在很大程度上可防止剪口崩裂，寿命可提高到 40000 件以上。

全封闭剪切模可尽量减小剪切毛坯的歪扭，使 x 值与 y 值减小到最小的程度。每班的生产率为 8000 ~ 10000 件。如果采用高转速压力机（115 次/min），使送料机械化、自动化，则生产率还可进一步提高。生产实践指出，采用全封闭剪切模影响生产的关键问题是必须使用径向公差较为严格的钢材，否则棒料送进封闭的刃口就很不方便。

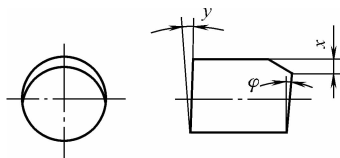


图 2-8　剪切毛坯的歪扭

（3）半封闭剪切法　为了解决上述送料问题，可采用半封闭剪切法。这时固定模采用全封闭刃口，活动模采用半封闭刃口，如图 2-9 所示。这种模具可以使用粗公差的圆钢进行生产，使生产成本大大降低。剪切的质量虽然不及全封闭剪切法，但可以用平整

端面的方法来解决。

对于端面与轴线不垂直的毛坯，在冷挤压过程中，会造成挤压凸模端面受偏心力，如图 2-10 所示。此时，很易使凸模折断。为了防止挤压凸模弯折，在挤压前应先将毛坯端面镦平。镦平工序常用的有两种：一种是用整形平板模在压力机上进行自由镦粗，如图 2-11 所示，这种方法对于长径比小的毛坯较为适宜。另一种是在专用的闭式整形模内进行预成形，如图 2-12 所示。该方法适用于长径比大的毛坯。

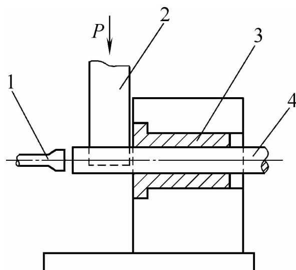


图 2-9　半封闭剪切模
1—挡块　2—活动切刀
3—固定切刀　4—棒料

从以上分析可知，剪切模具间隙是最影响毛坯质量的参数。该参数的选择与被切材料的直径有关。为了要使剪切质量好，则模具相对间隙（即剪切模具之间的距离，用被剪材料直径的百分数表示）应为一常数。在剪切圆棒料时，虽然材料端面各点尺寸不一，但模具相对间隙应相同。因此，模具上可磨一个椭圆形，如图 2-13 所示。

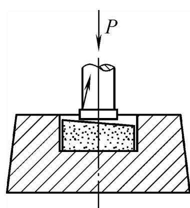


图 2-10　毛坯端面倾斜使凸模单面受力

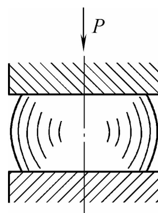


图 2-11　自由镦粗整形工序

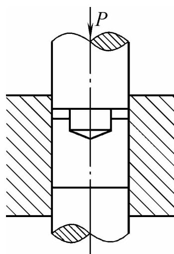


图 2-12　闭式整形工序

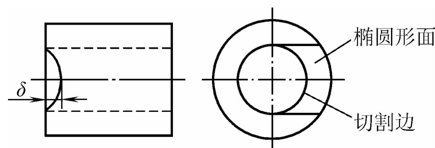


图 2-13　磨成椭圆形使间隙恒定的剪切模

实际上，为方便起见，也可以磨成斜面，如图 2-14 所示。在实际生产中，可以设计成图 2-15 的结构。通过增减 C 和 δ 值调节间隙。只要间隙合适，就会减小甚至消除剪切断面上的撕裂。一般来说，剪切硬材料时应比剪切软材料时的模具间隙大些。根据某厂资料，剪切深冲钢 S15A 时，$\delta=(0.03\sim0.04)d$。另外，δ 也可仅留于活动剪刃一侧，其值如图 2-15 所示。

剪切低碳钢时，容易产生撕裂，且变形较大。而剪切高碳钢时，质量较好，端面比较平整，变形也小。如果将低碳钢在剪切前进行径向的冷压缩（横截面可缩减 10%），是一个较好的方法，因为这样一方面能提高棒料的表面硬度，提高剪切质量，另一方面

使棒料与剪切模之间配合紧密。热轧钢棒也可以直接进行剪切，但在剪切前应进行去锈处理，以提高剪刃的使用寿命。

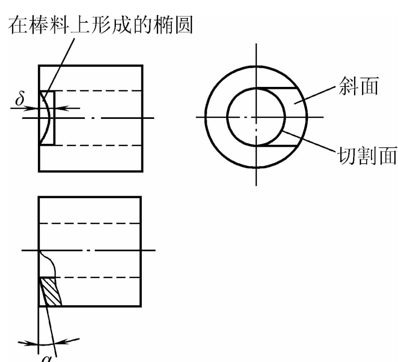


图 2-14　磨成斜面的剪切模

δ—标准间隙的一半

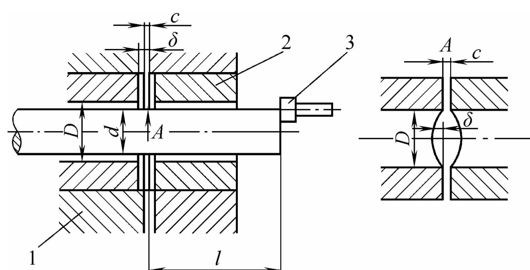


图 2-15　棒料剪切模

1—固定剪刃　2—活动剪刃　3—定位杆

注：$D - d = 0.1$mm；l—下料长度；$c = 0.1 \sim 0.5$mm；$\delta = (0.01 \sim 0.015)\ d$（对软料）；$\delta = (0.015 \sim 0.025)\ d$（对硬料）。

然而，为了使生产的毛坯质量稳定，变形量小，剪切面与轴线成直角，还可以对上述剪切模作进一步的改进，结构如图 2-16 所示。

在固定模和活动模上做出一后角 δ，这样就可以减小毛坯的端部锻缩（见图 2-8 所示的 x）。这种锻缩的产生是由于活动模和固定模内孔限制了剪断时的正常弯曲所引起的 β 角起了消除剪切圆周内对棒料的拘束作用。β 值随材料的力学性能而定，材料越软，δ 值越大。对低碳钢，δ 值可取 2°30′。同时把活动模的斜角 α 的起始点 A 移到中心轴线以下一定距离，这样可以减少剪切毛坯端面两侧的耳状毛刺。对 15 钢和 20 钢，A 点可在剪刃轴线以下 1.5mm 处；对 10 钢以及更软的钢材，A 点可在剪刃轴线以下 1.5 ~3mm 处。

为了提高剪切模具的使用寿命，可以设计用内外套的组合模具。材料均用模具钢，外套热处理后硬度为 48 ~50HRC，内套硬度为 59HRC。内套以每毫米 0.004 ~0.005mm 的过盈量配合安装在外套内。由于剪切时有振动，因此，镶套应有台阶，其结构如图 2-17 所示，否则在剪切时镶套可能移动，影响模具寿命。

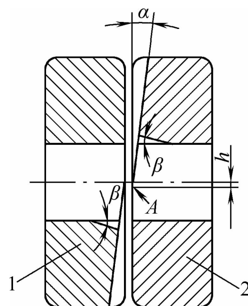


图 2-16　改进后的剪切模具

1—固定模　2—活动模

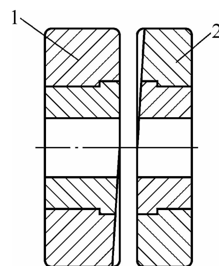


图 2-17　具有台阶镶套的剪切模

1—固定模　2—活动模

（4）棒料剪切的新方法　从上述分析可知，采用一般的棒料剪切法，毛坯的端面不平整，从而影响了挤压件的质量。为了获得良好的端面质量和较高尺寸精度的毛坯，目前国内外已研制及应用了一些棒料剪切的新方法。

1）施加轴向力的剪切法。这种方法的示意图如图 2-18 所示。该法的实质是在剪切区施加轴向压力，使剪切区材料处于很高的静水压力作用下，以改变剪切区的应力状态，增加材料的变形能力，从而提高剪切断面质量。剪切面质量的好坏与轴向压力的大小、间隙、剪切速度等因素有关。当间隙相同时，轴向压力越大，断面质量就越好；而当轴向压力相同时，间隙越小，剪切速度越高，断面质量就越好。

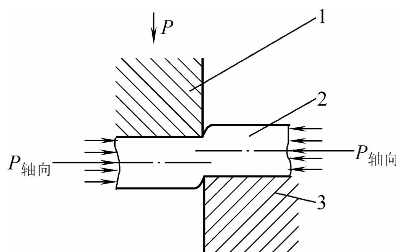


图 2-18　施加轴向力的剪切法
1—活动刀片　2—棒料　3—固定刀片

2）蓝脆剪切法。将钢棒料加热至蓝脆区的温度范围内进行剪切。这种剪切法只适用于具有蓝脆温度范围的钢材。蓝脆温度在 350°C 左右，蓝脆剪切模的结构类似于一般剪切模。如某厂对深冲钢 S15A（直径为 ϕ36mm）的冷拉圆棒进行蓝脆剪切。根据生产试验，确定温度范围在 350～450°C 之间（考虑经济性，选用 350°C）。采用感应加热，生产率为 27 件/min，即棒料每分钟送进约 2.2m（自动送进）。

3）高速剪切法。高速剪切所得毛坯断面平整。一般剪切时速度为 0.3～0.5m/s，而高速剪切时剪切速度高达 10m/s 以上。关于提高剪切速度使剪切质量改善的原因尚待深入研究。目前有两种见解，一种认为金属材料在应变速度达到一定值后会变脆，从而提出了临界冲剪速度的概念，即材料有剪断到脆性断裂两种不同切断形式的速度界限。一般下料时是由塑性剪切变形过渡到脆性断裂的过程，断面质量不佳。我们希望塑性剪切变形延续到剪切全过程，或是一开始就产生脆性断裂。高速剪切就是利用速度因素达到脆断的目的。试验表明，低碳钢的临界冲切速度为 10m/s 左右。另一种认为高速下剪切质量的改善是由于足够的惯性，致使切断部分来不及弯曲就已断裂，并提出剪切长度不能太短，否则质量下降，因为同样速度下，剪切长度越短，惯性越小。

如国内某厂采用一套带有棒料夹紧装置的试验模具，在空气锤上进行模拟试验，剪切棒料质量很好，可以直接用来挤压。后来，试制了一台棒料精密剪切机。这台设备主要包括棒料自动送料装置、液压夹紧装置和高速动力头。动力头系利用压缩空气和汽油喷雾的混合气燃烧所产生的膨胀功，来高速推动锤头。剪切力为 1000kN，速度为 18m/s，可用于活塞销冷挤压毛坯的生产。

据报道，生产用的高速剪切机，冲剪速度为 10～17m/s，生产率可达 60～90 件/min，重量公差可达 0.13%。

4）约束剪切法。该方法的实质是约束棒料的轴向转动以使剪切区处于较高静水压的作用下，从而得到质量较高的剪切断面。

图 2-19 所示为一种利用剪切模侧面相互约束，使棒料在水平方向移动的同时，剪切许多面的剪切法。该方法的特点是：除Ⅰ面没有受到约束而呈现出与一般剪切法相似

的剪断面以外，其余各面的剪断面质量均有所提高，而且还可以提高材料利用率。

图 2-20 所示为阶梯约束剪切法。它是利用一种具有剪切宽度与剪切面间距相同的剪刃，当剪切一段后，停止剪切，使棒料形成一段阶梯差 h，然后再利用阶梯面来约束材料在轴向上的移动而进行剪切的。该方法由于能适当选择阶梯差 h 和能用阶梯刀具在加压状态下进行剪切，所以可使剪切面质量进一步提高。

图 2-21 所示为一种单靠施加在加压面上产生摩擦力来约束材料移动的剪切法，称为径向夹紧剪切法。该方法由于在剪切时施加相当大的压紧力，而且端面又受到约束，因此，可以改变剪切区的应力状态，从而提高剪断面质量。

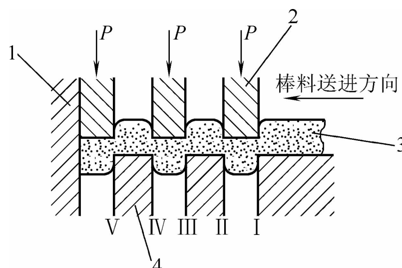


图 2-19　多面约束剪切法

1—挡板　2—活动刀片　3—棒料

4—固定刀片

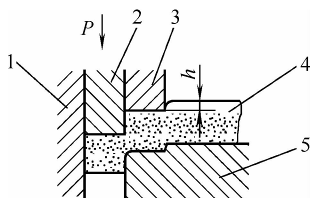


图 2-20　阶梯约束剪切法

1—挡板　2—活动刀片　3—夹紧刀片

4—棒料　5—固定刀片

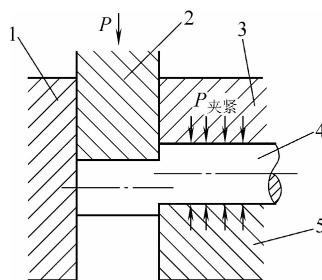


图 2-21　径向夹紧剪切法

1—挡板　2—活动刀片　3—夹紧压板

4—棒料　5—固定刀片

5）渐进剪切法。一般剪切时，剪切力仅作用在一个方向上，因而在棒料横断面及其圆周上产生单侧的不均匀的应力，其结果就在棒料横断面的一边出现不对称的变形。渐进剪切法就是克服变形不均匀、形状不对称的一种剪切方法，即将剪切刀沿着径向依次作用在棒料断面的整个圆周上（见图 2-22），使剪切深度 s 沿截面周围均匀分布，最后材料便产生静断裂或疲劳断裂。由于材料应力和变形的均匀，剪切断面质量良好。这种方法不仅可以有效地剪切棒料，而且可以用于型材、空心型材（需用芯棒）的精密剪切。

渐进剪切法是一种运动方式，即活动系统 x 轴和 y 轴是平行移动的，但其位置的方向不变，如图 2-22 所示。这运动方式可以由一个或两个以上的偏心轴来完成。

6）预先倾斜剪切法。一般剪切法所得的切断面与刃口运动方向线并不一致，而成一定角度（与轴线不垂直）。为使断面垂直于轴线，可采用预先倾斜的剪切法（见图 2-23）。预先倾斜的角度可与剪切的倾斜角相补偿，因而可以得到与轴线垂直的断面。棒料的预倾角与其材料的抗拉强度有关，可参见表 2-10。

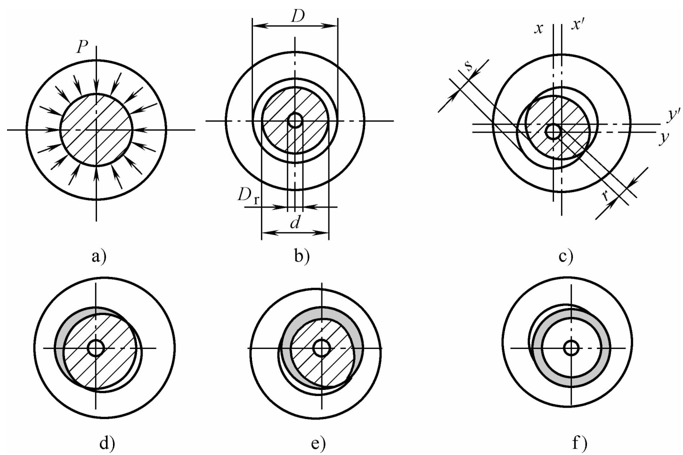


图 2-22　渐进剪切法的工作过程

a）剪切力的作用　b）剪刀原始位置　c）、d）、e）、f）剪刀在剪切过程中的瞬时位置

P—剪切力　D—剪刀内径　D_r—剪刀中心回转圆周的直径

s—剪切深度　r—剪刀中心的回转半径

表 2-10　预　倾　角

预倾角 α	材料的抗拉强度 R_m/MPa
7°	<500
5°	500～800
2°30′	800～1000
0°	>1000

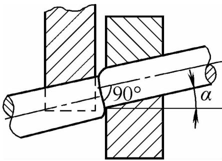


图 2-23　预先倾斜剪切法

2.3.2　剪切下料的技术要求及常见疵病

1. 剪切下料的技术要求

为了满足冷挤压的工艺要求，剪切毛坯必须达到一定的技术要求，否则，将会使冷挤件造成各种缺陷。总的来说，剪切毛坯应该在以下四个方面达到一定的技术要求。

（1）体积　剪切毛坯的体积必须控制在一定范围内，以便减小随后的机械加工余量，并且避免由于材料体积过大，而造成的模具和设备过载。

（2）端面倾斜　剪切毛坯的变形应尽可能小，以避免挤压凸模承受偏心负荷，并保证模内填充程度均匀。

（3）断裂表面　棒料剪切后的断裂表面不应有裂缝、叠层、撕裂和多肉等缺陷。

（4）加工硬化　毛坯断裂表面的加工硬化应尽可能小，这样就可不必在挤压前进行热处理。

影响剪切下料技术要求的主要因素是材料性能、剪切速度及切刀间隙。一般来说，材料越硬，剪切速度越高，剪切断面的质量越好。对于中小直径的棒料，最适宜的压力

机转速在 100～120r/min。径向间隙（切刀孔径和棒料外径之差）应尽可能小，棒料只要能自由进入切刀孔就够了，这一间隙一般不大于 0.15mm。轴向间隙（两切刀间的间隙）对下料质量影响不大。

2. 剪切下料的常见疵病

理想的剪切毛坯，应该是既没有裂纹、毛刺，也没有撕裂及多肉现象，端面相当平整，而且与棒料轴线成直角。由于设备、剪切模具及材料因素的影响，制造一个无疵病的冷挤压毛坯，甚至比生产一个良好的挤压件还要困难。冷挤压生产中，剪切下料常见的下料疵病及其原因见表 2-11。可以看到，材料性能和剪切间隙对下料质量有很大的影响。可以说，软的材料很难获得好的剪切断面，而且材料越软，剪切质量越差，越不容易控制。除此之外，还必须注意到轴向间隙在剪切过程中是变化的。因此，在设计剪切模具时，应该通过提高导向精度的办法，对间隙进行有效的控制，使其变化最小。

表 2-11　剪切下料常见疵病及其原因

序号	疵病名称	疵病图示	发生原因
1	端面倾斜	l_1、l_2、φ	1）切刀间隙偏大 2）切刀刃口磨钝 3）料软
2	圆度误差过大	d_1、d_0	1）径向间隙大 2）料软 3）剪切速度低
3	压塌变形	a、l	1）轴向间隙大 2）切刀刃口变钝 3）料软
4	耳状		开式剪切时切刀尺寸小
5	舌状		1）由于切刀间隙很小，在材料上的两道裂缝可能连不起来，一道裂缝跑到另一道裂缝的后边，在切断面中心形成金属舌 2）料软

（续）

序号	疵病名称	疵病图示	发 生 原 因
6	切痕		如果切刀间隙过大，在毛坯断裂面的中部或边缘上就会出现带有切痕的粗糙表面，即擦伤
7	横向断裂		由于切刀间隙太小，使两个相对的裂缝方向骤然变化而产生的。一般出现在有限压缩区域内
8	双剪		切刀吃刀过量，在断裂后切刀可能又剪切着断裂面，而造成双剪现象
9	凹陷		1）料硬 2）切刀间隙过小
10	重量不均		1）送料不到位 2）定位螺栓（块）松动 3）材料弯曲，影响正常送进

在某些情况下，上述疵病在不同程度上都会发生和存在。但是，可对生产过程构成危害，直接影响制品质量、实际操作和模具寿命的，是重量不均和切断面撕裂。后者在挤压时将导致不希望有的叠层，对电镀和储存极其不利，是不允许存在的。端面倾斜、凹陷和较大的压痕也极其不利，但是在经过校整和预成形以后，是可以消除的。重量不均，在一定的范围内是正常现象，但应力求避免过大重量毛坯的出现，因为它会使模具破坏和设备过载。毛坯重量过小也是不允许的，因为这时充填不满，会造成废品。毛坯放在完全封闭的挤压模内进行挤压时，这点尤其重要。

下料重量不均的主要原因是材料的尺寸偏差及棒料的弯曲度，弯曲较大的棒料送料送不到位；另一原因是刃口的变化及下料模具处于不正常的工作状态。

2.3.3　毛坯的预成形

毛坯的预成形，就是在冷挤压前预制毛坯，使其与模腔形状大概一致，而且具有较好的配合特性。同时，预成形可将材料体积进行初步分配，并兼有局部成形的作用。它是冷挤压加工前的毛坯准备工序，也是冷挤压工艺过程的重要组成部分。

预成形的基本方法主要有冷镦、校形、压凹、减径挤压四种。

1. 冷镦

前面已经提到，按挤压件图计算和设计的毛坯尺寸，并不与标准棒料直径一致。选择的标准棒料直径小于挤压毛坯的外径时，要通过自由镦粗使其截面加大，这就是通常所说的平行平板间所进行的自由镦粗，如图 2-24 所示。它不仅是自由锻、模锻工艺过程中最基本的工序之一，也是冷挤压加工的制坯过程中不可缺少的一种工艺方法。通过冷镦粗试验，还可以检查材料的质量。当前，在加工复杂的锥形体、带法兰、大凸缘的筒形及空心零件时，越来越多地采用冷挤和镦粗相结合的工艺方法。因此，冷镦（冷镦挤、冷镦锻等）工艺，已经成为冷挤压成形技术中的一个重要组成部分。

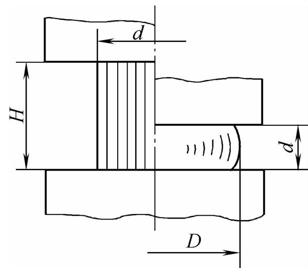


图 2-24　圆柱试样冷镦粗

2. 校形

剪切毛坯都有不同程度的变形和偏心、端面倾斜不平，也比较粗糙，用它直接进行挤压将会产生较大的侧向力，而易使冲头折断。如果采用冷镦后的坯料进行挤压时，由于坯料圆度的影响，坯料与模具相互配合的间隙不均匀，甚至出现坯料在模具内不居中的现象，这样不但使凸模受力不均衡，还会使金属流动不均匀，直接影响零件的精度。为了获得较高的尺寸精度和使壁厚差减到最小，必须使坯料与模腔严密配合和精确定心，这对于反挤压用的毛坯尤其重要。想用偏心的毛坯得到同心的挤压件，实际上是不可能的。因此，用于挤压的坯料，无论是剪切毛坯，还是经过冷镦的坯料，在多数情况下，还需要进行校形，使其端面平整，形状对称，尺寸精确，更加符合于模具型腔的几何形状，并与模具严密配合。

校形是在封闭的校形模内进行的。坯料被完全限制在模腔之中，利用冲头和顶杆将上、下端面压平，同时迫使金属径向流动并紧贴模壁，直至充满模腔为止。但是，考虑到坯料重量的不均匀、金属向凹角流动的困难以及挤压工艺的实际需要，没有必要要求模腔完全充满，以得到棱角清晰、各面金属挤压饱满的坯料。因此，通常规定校形部分的高度只要达到坯料高度的 1/2 ~ 2/3 就足够了，而且边棱部位允许有因未充满所产生的自然秃角。校形坯料的两个端面越平，对模具越有利，一般控制在 0.05mm 以内。校形的变形程度一般都很小，对于低碳钢来说，校形的变形程度在 20% ~40% 范围内。

校形坯料的外径尺寸介于冷镦坯料（或剪切毛坯）和挤压件尺寸之间，是由挤压件尺寸确定的，通常要比挤压件尺寸小 0.02 ~ 0.10mm，具体数值根据挤压件的精度要求来确定。

3. 压凹

压凹就是在毛坯的端面上预成形出一个凹坑，这个凹坑主要有以下三个作用：①有利于储存润滑剂，挤压过程中可不断有润滑剂补充至相对滑动表面，不致因缺乏润滑剂而使金属和凸模之间发生粘附；②通过压凹调整和改善冲头的支撑平面，使冲头易于对准中心，以减轻冲击载荷；③压凹可以成形部分形状，在挤压时不能挤足的高度，也可

以在压凹时进行，即在毛坯与挤压件之间，压凹兼有局部成形和预先分配材料体积的作用。

压凹的形状是各式各样的（见图 2-25），主要取决于挤压件的形状和实际需要。采用何种坯料进行压凹也是很讲究的。在形状规则、尺寸精确的校形坯料上压凹时（见图 2-26），凹窝的深度尺寸一致，形状规则，边棱清晰，没有秃角和缺损。但是，在冲头开始接触毛坯的瞬间，挤压力几乎立即升至最大值，此时，冲头易受到冲击作用。利用自由镦粗的坯料直接压凹时（见图 2-27），由于坯料与模具间有空隙，毛坯料有一个充满模腔空隙的过程（B），因而可以减缓冲击，使压凹力减小。但是，由于坯料圆度误差的影响，坯料与模具的间隙不一致，压凹时金属流动不均匀。结果，压凹尺寸不一致，口边产生高低不平，甚至在局部出现明显的缺肉现象。因此，对压凹尺寸和形状要求不高时，可以采取冷镦坯料直接压凹。但是压凹尺寸和形状要求很高且强度较高的材料时，则应用经过校形的坯料进行压凹。

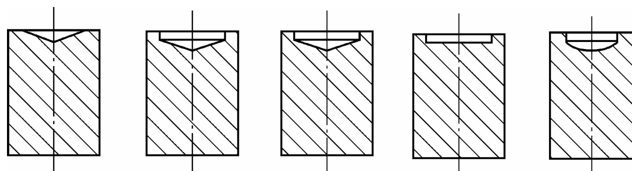


图 2-25　凹窝形状

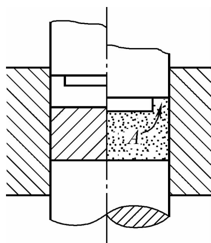


图 2-26　校形毛坯的压凹过程

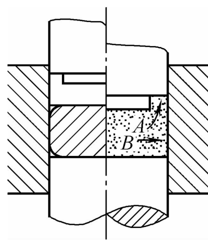


图 2-27　冷镦毛坯的压凹过程

压凹预成形有时是单独进行的，多数情况下是与校形、局部成形等结合在一起进行。例如，图 2-28 所示的预成形过程中，在压凹的同时校整坯料外径。考虑到多余材料的排除问题，将凸模前端作出 $C2$ 的倒角，压凹时多余的金属体积可以流向 A 处，就不至于因为材料完全封闭，使模具过载而过早损坏了。

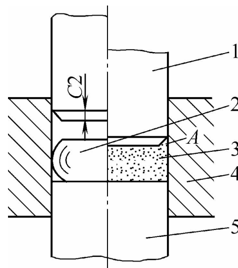


图 2-28　压凹兼校形
1—凸模　2—毛坯　3—校形毛坯
4—凹模　5—顶杆

图 2-29 所示的预成形过程中，在对坯料端部实行压凹的同时成形部分锥体。

4. 减径挤压

减径挤压是变形程度很小的一种特殊的正挤压变形方式。挤压时，利用第二个毛坯将留在模腔内的第一个挤压坯料从凹模内挤出，如图 2-30 所示。此后，过程依此进

行，每次放入一个毛坯挤出一个坯料。这种成形方法对于铝合金来说，尤为适宜。例如，图 2-31 所示预成形过程制取的硬铝坯料冷镦后表面出现橘皮状，经过校形仍然不能去除，并产生裂纹。为了克服这一缺点，改用减径挤压的方案，即以比坯料要求尺寸（ϕ39.87mm）大些的标准棒料（ϕ41mm）进行减径挤压。在减径的同时，对端面进行压凹。此时，压凹冲头的突起高度 H，要设计得大于凹模的刃带高度 h。这一方案的预成形过程如图 2-32 所示。这种将压凹同减径结合起来的方法，是铝合金合理制坯的一个新途径。

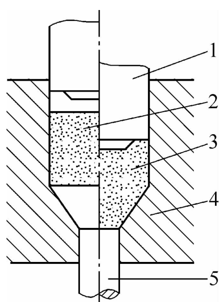


图 2-29　压凹兼局部成形

1—凸模　2—毛坯　3—预成形件
4—凹模　5—顶杆

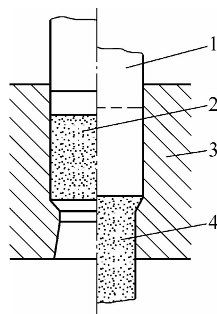


图 2-30　减径挤压过程

1—凸模　2—毛坯　3—凹模
4—预制毛坯

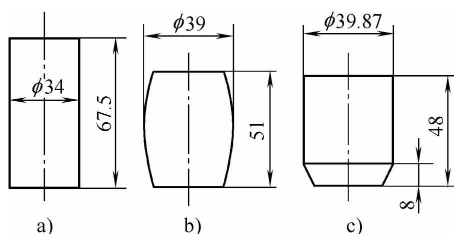


图 2-31　硬铝毛坯的预成形

a）下料　b）冷镦　c）校形

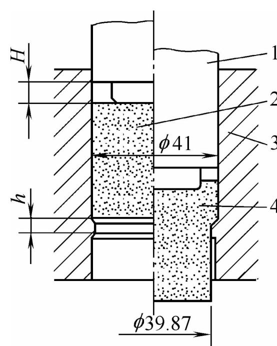


图 2-32　减径兼压凹的预成形

1—凸模　2—毛坯　3—凹模
4—预成形毛坯

2.4　毛坯软化处理

为了改善材料的冷挤压性能，提高塑性，降低硬度和变形抗力，消除内应力和得到良好的金相组织，以降低单位挤压力和提高模具使用寿命，在冷挤压加工之前或多道冷挤压工序之间，必须对毛坯进行软化处理。金属材料冷挤压毛坯的软化热处理工艺分别

介绍如下。

2.4.1　碳钢及低合金钢

在冷挤压钢毛坯的软化热处理中常用的有以下几种。

（1）完全退火　完全退火是将钢加热到 Ac_3 以上 30～50°C 的温度，并在此温度下保温一定时间，然后随炉缓冷，或在 550°C 以后从炉中取出空冷（见图 2-33）。

完全退火适用于亚共析钢和共析钢[w(C) < 0.8%]。退火后的组织为铁素体 + 珠光体。由于过共析钢[w(C) > 0.8%]在缓慢冷却时，将沿晶界析出二次渗碳体，使钢的性能变坏。因此，过共析钢一般不采用完全退火。

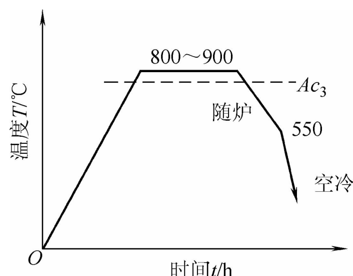


图 2-33　完全软化退火

（2）球化退火　球化退火就是使珠光体中的渗碳体和二次渗碳体球化而进行的一种退火。这种方法主要适用于共析钢和过共析钢。

球化退火是将钢加热到稍高于 Ac_1 的温度，保温后，再较长时间地保持在略低于 Ac_1 点的温度，然后缓慢冷却（见图 2-34）。由于加热温度稍高于 Ac_1，过热度很小，因此，未溶于奥氏体的碳化物较多，同时溶入了碳化物的奥氏体，其成分也不均匀。因此，在冷却时未溶的碳化物和奥氏体中碳浓度较高的地方，就成为冷却时碳化物结晶的核心，同时保温时间长使片层状碳化物球化，因而在冷却后得到粒状碳化物和粒状珠光体的组织。由此可见，球化退火的关键是加热温度不能过高。有的钢一次球化退火较难达到球化目的。因而需要采用循环退火法进行球化，即将钢加热到球化温度，保温后，冷却到 680～700°C 再加热到球化温度，这样重复几次而达到球化的目的。

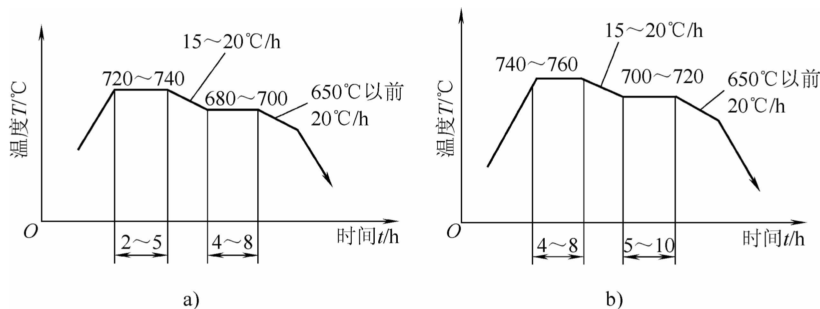


图 2-34　碳钢和低合金钢的球化退火规范

a）碳钢　b）合金钢

（3）不完全退火　不完全退火是将钢加热到高于 Ac_1，而低于 Ac_3（对亚共析钢）或 Ac_{cm}（对过共析钢）的温度，并在此温度停留一定时间，然后缓慢冷却。在冷挤压毛

坯的准备工作中，不完全退火一般只应用于低碳钢。

根据最近的研究表明：对 30 钢以下的低碳钢，完全退火和球化退火后，变形抗力没有什么区别，因此应用完全退火，不用球化退火。然而对中碳钢，球化退火的比完全退火的变形抗力要小，可采用球化退火。表 2-12 列出了 40 钢由于退火而产生的性能变化。但是球化退火时间长，容易脱碳和氧化，因此，希望采用具有还原气氛的煤气炉。但当使用煤气炉时，由于煤气的成分，使毛坯表面渗碳，渗碳层深度至少有 0.2 ~ 0.3mm，从而影响其加工性能。

表 2-12　40 钢的退火力学性能

状态	抗拉强度 R_m/MPa	下屈服强度 R_{eL}/MPa	伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）
锻造	730	410	7	3
800°C 退火	635	350	22.5	37
球化退火	420	204	43.0	69

为了防止退火时的脱碳和氧化，可以采用下列方法：

1）真空退火，即将退火炉抽成真空。

2）将毛坯放在箱内用石棉盖好后装进退火炉。

3）将毛坯放在箱内，盖上铸铁屑，然后送进炉里。

表 2-13 列出了我国工厂常用的毛坯软化热处理规范。

表 2-13　毛坯软化热处理规范

材料		软化热处理规范	布氏硬度 HBW		备　注
			处理前	处理后	
纯铁	DT1 DT2	温度/℃　900±10　炉冷　3　O　时间/h		60 ~ 80	
普通碳素钢	Q195 Q215 Q235 Q275	温度/℃　920～960　920～960　O　8　16　8　96　时间/h		100 ~ 110	所需时间较长，但热处理后硬度较低

（续）

材料		软化热处理规范	布氏硬度 HBW		备　注
			处理前	处理后	
优质碳素结构钢	10、15 20、30 40、45	温度/℃ 720±10 炉冷 2～3 O 时间/h		107～ 162	107～118（10 钢） 109～121（15 钢） 121～131（20 钢） 138～145（30 钢） 145～162（40、45 钢）
	10	温度/℃ 930 炉冷 150～250℃空冷 2～3 O 时间/h		80～ 90	退火后硬度低于上述的退火规范
	20	温度/℃ 850～890 炉冷 150℃空冷 6 O 时间/h		110～ 120	
	45	温度/℃ 820～850 炉冷 2～3 O 时间/h		145～ 155	
		温度/℃ 920～960 500 炉冷 8 16 8 O 时间/h		～130	
	16Mn	温度/℃ 760 炉冷 5 O 时间/h	170	130	

（续）

材料		软化热处理规范	布氏硬度 HBW		备　注
			处理前	处理后	
优质碳素结构钢	45Mn	温度/℃ 880 炉冷 4 O 时间/h	217 ~ 230	145 ~ 155	注意：防止脱碳
合金结构钢	20MnV	温度/℃ 840 40℃/h 炉冷 720 650 炉冷 O 时间/h 2 4 5		>131	
	15Cr 20Cr 40Cr	温度/℃ 860 20℃/h炉冷至300℃空冷 14 O 时间/h 温度/℃ 800 15℃/h炉冷至500℃空冷 12 O 时间/h	170 ~ 217	113 ~ 120 120 ~ 130 150 ~ 163	
	30CrMnSiA	温度/℃ 890±1 油淬 730 O 时间/h		≈120	淬火时间根据毛坯尺寸而定
碳素工具钢	T8A	温度/℃ 750 680 炉冷720 炉冷至300℃ 0.5 2.5 O 时间/h	1950 HV	1600 ~ 1650 HV	
轴承钢	GCr15	温度/℃ 850 炉冷 5 O 时间/h		174 ~ 192	

2.4.2　不锈钢

用于冷挤压的不锈钢有两种类型，即 Cr13 马氏体型不锈钢和奥氏体型不锈钢。这两种类型的不锈钢的冷挤压毛坯软化热处理是不同的。

Cr13 型不锈钢的软化热处理有三种方案：高温回火、退火和等温退火，见表 2-14。其退火组织是在铁素体的基体上存在着不同尺寸的碳化物颗粒。而奥氏体型不锈钢冷挤压毛坯的软化热处理，一般是采用淬火，如图 2-35 所示。奥氏体不锈钢的这种处理又称为固溶处理。随着固溶温度的升高，碳化物在奥氏体中的溶解度不断增加。当固溶温度在 1100°C 时，在沸水中淬火后，具有最低的强度和最大的塑性，其硬度为 130HBW（处理前的硬度 220HBW）。

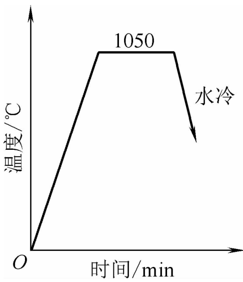


图 2-35　奥氏体不锈钢 12Cr18Ni9 的固溶处理

表 2-14　Cr13 型钢软化热处理规范及性能

牌号	高温回火		退　火		等温退火	
	工艺参数	硬度 HBW	工艺参数	硬度 HBW	工艺参数	硬度 HBW
12Cr13	750～800°C，1～3h	170～195	850～900°C 保温 1～3h，20～50°C/h 冷至 600°C，然后空冷	135～160	加热到 900°C，在 725°C 等温 1h 空冷	硬度大为下降
20Cr13	750～800°C，保温 2～6h	200～230	875～900°C 保温 1～2h，以 15～20°C/h 冷至 600°C 然后空冷	170～200	根据 C 曲线确定	硬度大为下降

2.4.3　有色金属

有色金属在冷挤压中用得最广，主要原因就是这种金属的挤压性能特别好。但为了提高塑性，降低变形抗力，也必须在挤压前进行软化热处理。有色金属的软化热处理规范见表 2-15。

表 2-15　有色金属的软化热处理规范

材料		软化热处理规范	布氏硬度 HBW		备　注
			处理前	处理后	
铝及铝合金	1070A、1060、1050A、1035、1200	温度/°C；420；炉冷；2～4；O；时间/h		15～19	

（续）

材料		软化热处理规范	布氏硬度 HBW		备　注
			处理前	处理后	
铝及铝合金	5A02 5A05 3A21	温度/℃　390～400　炉冷　5　O　时间/h		38～39	
	2A11 2A12	温度/℃　420　410～420　炉冷至230℃　4　12　O　时间/h 温度/℃　400～420　240　炉冷150℃　4　O　时间/h	105	53～55 55～60	
	2A50	温度/℃　410±10　炉冷至150℃　4　O　时间/h		50～51	
	2A80	温度/℃　440±10　炉冷至150℃ 空冷　2　O　时间/h		55	
	2A14	温度/℃　400～420　炉冷至150℃　4　O　时间/h		70	随炉冷至 150°C，空冷
	变质铝 160	温度/℃　390～410　炉冷　2～3　O　时间/h		24～32	

（续）

材料		软化热处理规范	布氏硬度 HBW		备　注
			处理前	处理后	
铜及铜合金	T1 ~ T3 TU1、TU2	温度/℃；710～720；炉冷；4；O；时间/h	110	38 ~ 42	也可采用火淬软化处理
	H62	温度/℃；670～680；炉冷；5；O；时间/h	150	50 ~ 55	也可采用 700 ~ 750° C 水淬
	H68	温度/℃；600～670；炉冷；4；O；时间/h		45 ~ 55	也可采用（700 ± 10）° C 水淬
	QSn6. 5-1. 5	温度/℃；650～750；炉冷至300℃ 空冷；4；O；时间/h		75 ~ 90	
	QAl10-4-4	温度/℃；920；炉冷至300℃ 空冷；2.5；O；时间/h		143 ~ 150	

2. 5　毛坯表面处理与润滑

2. 5. 1　冷挤压毛坯表面预处理

冷挤压前，应当对钢毛坯进行表面处理。至于在各变形工序之间是否要重新进行表

面处理，则应根据变形条件来决定。剧烈的冷挤压变形后，在下一道冷挤压工序前应当再进行磷化处理与润滑处理。但对于变形并不剧烈的拉深、压底以及镦粗等工序，则不必在每道工序间都进行表面处理。

表面处理的主要内容有：去除表面缺陷；清洁、脱脂、清洗；去除表面氧化层；在坯料表面形成特殊的润滑支承层（磷化处理和润滑处理）。其中前三项处理的目的是改善表面质量，并为以后的磷化处理与润滑处理做好准备。冷挤压毛坯表面预处理见表 2-16。

表 2-16　冷挤压毛坯表面预处理

项目	说　明
去除表面缺陷	钢材和工序间半成品件的表面缺陷必须进行清理。由于原毛坯的缺陷以及前道工序的润滑不当或模具缺陷等原因引起的表面缺陷，应当在进行后工序以前予以去除。在实际生产中一般采用软轴砂轮或抛光轮进行处理
表面清洗	为了使磷酸盐处理时毛坯表面都能直接与处理液接触，保证良好的磷化效果，必须彻底去除表面上所有的油、砂、锈斑与垢壳，使坯料表面清洁 坯料表面清洗包括有碱清洗、水洗、酸腐蚀、冷水和热水洗 碱清洗是为了清除前面工序带来的油液、油脂和油污，以便有效地进行后面的腐蚀。可用 65 ~ 70℃的热碱溶液喷射坯料 1 ~ 2min，或者把坯料浸没在 90 ~ 100℃的碱溶液中 5 ~ 10min。脱脂配方见表 2-17
去除表面氧化层	毛坯表面上的氧化层一般是在轧制加热过程中或在软化退火时形成的。去除氧化层的方法有化学处理与机械处理两种，两种方法可以单独使用，也可联合使用 （1）化学处理（酸洗）　酸洗处理时将毛坯浸入硫酸、盐酸或其混合液中，使锈层逐渐剥落或溶解，酸洗时间与锈层的形式、厚度及金属成分有关，也与酸液的成分、温度及处理方式有关，必须妥善掌握。如果没有自动化酸洗设备，为了防止坯料在酸液中停留过久，造成表面粗糙或形成微小的蜂窝状缺陷，可以在酸液中加入缓蚀剂，用于碳钢的酸洗液配方见表 2-18 用搅动酸液或移动坯料的方法可以缩短酸洗时间。质量小的坯料可将毛坯放在篮中在酸液中移动。质量大的毛坯，可用杠杆式或链式机构搅动酸液，还可用吹入压缩空气或蒸汽的方法，使酸液本身搅动，或用泵使酸液循环。表 2-19 列出了酸洗产生的缺陷、原因及其改进措施 （2）机械处理　常用的机械除锈法是用转鼓滚磨。转鼓是一个横放在机架上的圆柱体或六面柱体的鼓形箱子，放入坯料与磨料，经过一定时间的滚磨后，便可获得表面干净、光亮、细致的毛坯。这种设备结构简单，管理方便，生产率也高。如果用砂子作为磨料，就称为干式滚磨；如再加入肥皂水或碱液，即为湿式滚磨；若同时加入碳酸钠溶液与木屑，则可达到去油的目的。可根据氧化层的情况确定滚磨的时间，一般为 30min ~ 2h 机械除锈法中还有喷砂法，即用约 0.2MPa 的压缩空气将砂粒吹在坯料上。靠砂流的不断冲击将毛坯表面的锈层逐步除去
去氢处理	氢脆会使一些重要零件（例如航空产品）日久开裂而产生严重的后果。对于这种零件，在酸洗后应立即进行去氢处理。常用的去氢处理是在 200℃保温 2h

表 2-17　脱 脂 配 方

脱脂配方 1	氢氧化钠	60 ~ 100g/L	脱脂配方 2	氢氧化钠	60g/L
	碳酸钠	60 ~ 80g/L		碳酸钠	60g/L
	磷酸三钠	25 ~ 80g/L		磷酸三钠	30g/L
	水玻璃	10 ~ 16g/L		水玻璃	10 ~ 16g/L
	处理温度	≥85℃		处理温度	80 ~ 100℃
	处理时间	15 ~ 26min		处理时间	30 ~ 40min

表 2-18　用于碳钢的酸洗液配方

酸洗液配方 1	硫酸	120 ~ 180g/L	酸洗液配方 2	盐酸（总酸度 32%）	100%
	盐	8 ~ 10g/L		处理温度	室温
	处理温度	66 ~ 75℃		处理时间	5 ~ 15min
	处理时间	5 ~ 15min			

表 2-19　酸洗产生的缺陷、原因及其改进措施

缺陷情况	产生原因	改进措施
氧化层去除不彻底，局部表面仍有残留	酸液配方不准；温度太低；酸洗时间不够；脱脂不够干净；坯料间的相互接触；表面存在空气	检查酸液的成分，提高酸含量；提高酸洗温度；延长酸洗时间；脱脂时选择合适的悬挂设备；对毛坯或酸液进行搅动
毛坯表面粗糙	酸液不恰当；温度太高；酸洗时间太长；酸含量太高	用有缓蚀剂的酸液；降低温度；缩短酸洗时间；减少酸含量
表面有小点	从酸液中析出的化学成分（如碳、硅、铜等）由于过分酸洗而附着在表面上	再次进行酸洗，采用新的酸液或应用添加剂；搅动酸液或毛坯
表面出现盐结晶粒	酸液被金属盐所饱和	加入新的酸液
工件变脆	由于酸洗过多而吸收氢气过多	用有缓蚀剂的酸液；降低温度；缩短时间；减少酸含量；并用长期储存或热处理的方法去除脆性

2.5.2　磷化处理

磷化处理亦称磷酸盐处理，是将表面完全洁净的金属放入含有磷酸锌、磷酸锰或磷酸铁的稀磷酸溶液中进行处理，在金属的表面发生溶解或腐蚀并形成一层不溶性的覆

盖层。

一般是将固体或液体的化学原料用水稀释成溶液状态，以浸渍法或喷洒法来进行。为了缩短处理时间，往往再加入一些促进剂，如重金属镍离子与铜离子、硝酸盐、亚硝酸盐或氯酸盐等。

按照处理时的温度，可分为热磷化处理法与冷磷化处理法。这两种方法对钢的冷挤压均有很好的效果，在生产中都有应用。

磷化后，用冷水喷射 0.5min 或浸没 1min 来除去由磷酸盐溶液残留的酸和盐。冷水清洗后应进行中和清洗，用缓冲液（如碳酸钠）喷射或浸没 0.5～1min，缓冲液要与润滑剂完全相溶。在中和清洗中，残留在多孔的磷酸盐覆盖层里的酸和盐被中和，为润滑剂的吸附或与润滑剂的反应创造了有利条件。

1. 磷化处理的配方（见表 2-20）

表 2-20　磷酸盐处理的配方

配方	成分	含量	说明
配方 1	氧化锌	20～30g/L	首先配制母液，再用 10 倍的水稀释后即可使用 配制母液时，计算所用化学材料的需要量。先将 23kg 的氧化锌在单独的容器内用水稀释成糨糊状。再用带有冷却装置的不锈钢槽配制母液，先在槽内加入少量的冷水，不断地搅拌并缓慢地加入所需要的硝酸后，再加入所需要的磷酸。通入冷水冷却，在温度不大于 41℃的情况下搅拌，并分批加入糨糊状的氧化锌。在加入氧化锌的同时应充分地搅拌，完全溶解后再加入第二批，直至氧化锌全部加完并搅拌至无沉淀物为止。待溶液冷至室温后再加入所需要的碳酸钠，搅拌至完全溶解，至母液表面所产生的红色气泡消失为止。再用水稀释至需要的体积，并加入亚硝酸钠，储存 1h，当母液中出现部分沉淀物时即可使用 处理温度：40～45℃，处理时间：10～15min
	磷酸	22～30g/L	
	硝酸	30～40g/L	
	碳酸钠	4～6g/L	
	亚硝酸钠	0.1～0.2g/L	
	水	1L	
	总酸度	50～70 点	
	游离酸度	3～5 点	
配方 2	氧化锌	9g/L	处理过程中，首先将氧化锌加入不断搅拌的稀释硝酸中，然后加入磷酸，再加水 处理温度：85～95℃，处理时间：30min
	磷酸	23g/L	
	水	1L	
	总酸度	16～20 点	
	游离酸度	2.5～4.6 点	
配方 3	氧化锌	23～26g/L	处理过程中，首先将氧化锌加入不断搅拌的稀释硝酸中，然后加入磷酸，再加水 处理温度：75℃，处理时间：30～40min
	磷酸	40g/L（密度为 1.53g/cm^3）	
	硝酸	22～24g/L（密度为 1.60g/cm^3）	
	水	1L	

（续）

配方	成分	含量	说　　明
配方 4	氧化锌	15g/L	处理程序如下： 1）将硝酸锌溶入磷酸后再注入 2）将磷酸锌溶入磷酸后再注入 3）将硝酸钠溶于水后再注入 4）将氢氧化钠溶于水，在不断搅拌下注入 5）在池中加入适当比例的水 配方 4 处理温度：66～77℃，处理时间：10min 配方 5 处理温度：26～40℃，处理时间：20～25min
	磷酸	8g/L	
	硝酸	18g/L	
	水	1L	
配方 5	磷酸	23g/L	
	硝酸锌	72.4g/L	
	磷酸锌	13.2g/L	
	氢氧化钠	4.5g/L	
	硝酸钠	7.56g/L	
	亚硝酸钠	1.0g/L	
	水	1L	
配方 6	磷酸锌	5～10g/L	处理温度：83～90℃，处理时间：6～16min
	磷酸	8～12g/L	
	水	1L	

2. 磷化处理中出现的问题及解决方法（见表 2-21）

表 2-21　磷化处理中出现的问题及解决方法

出现的问题	解 决 方 法
磷化膜结晶过分粗大	1）应降低游离酸度 2）调整游离酸度与总酸度的比例 3）磷化膜的酸洗时间不得过长
局部没有磷化膜	1）应彻底除掉上道工序的磷化膜 2）脱脂未做好，要加强脱脂工序 3）夹具有缺陷，接触面积太大
磷化膜不均匀	磷化液使用时间太长
冷挤压磷化膜产生条状脱落	1）原有上道工序的磷化膜未全部去除，应彻底清除 2）皂化液不干净，皂化后产品表面有杂质，应保持槽内清洁
磷化液的老化	新配磷化液在处理数量不多的坯料后即发生磷化层变薄、反应时间加长、质量不均匀的现象，称为磷化液的老化。要杜绝该现象，除了溶液严格按配方比例配制外，每天在升温时和处理完降温时都应将处理液过滤，去除杂质和沉淀物，这样可以大大延长溶液使用时间

2.5.3　草酸盐覆层

钢中铬的质量分数超过5%时，不能进行磷化处理。因此，不锈钢、镍基合金不用传统的磷酸盐覆层，而采用铜镀层、石灰覆层、草酸盐覆层代替。由于铬和镍的氟化物对草酸有耐蚀性，需加入活性剂（如氯化物、溴化物、硫氰酸盐等）及促进剂（少量的硫代硫酸钠或草酸钛）以防止表面钝化。草酸盐处理液配方见表2-22。

表2-22　草酸盐处理液配方

成分	含量	说　　明
草酸	50g/L	处理温度不能大于90℃，否则处理无效，不能形成所需要的薄膜，毛坯经草酸盐处理后用热水洗涤，草酸盐处理覆层呈绿黑色。处理后坯料用润滑剂润滑，润滑剂配方（质量分数）为：氯化石蜡85%，二硫化钼15%
钼酸铵	30g/L	
氟化氢钠	10g/L	
氯化钠	25g/L	
亚硫酸钠	3g/L	
水	1L	

2.5.4　冷挤压润滑剂

润滑的好坏也是挤压工艺成败的关键，因为润滑关系到挤压力的大小、挤压件表面质量和模具的使用寿命。在设备和模具条件已定的情况下，润滑就成了决定的因素。

磷酸盐及草酸盐覆层本身几乎不具有润滑性，而只是为施加润滑剂创造条件和做好准备。磷化膜是冷挤压毛坯的润滑支承层，磷化后的坯料还需进行润滑处理。

钢冷挤压的润滑主要有皂化与用猪油加适量的二硫化钼两种。润滑剂需按照挤压的变形程度来选择。冷挤压常用润滑方法见表2-23。

表2-23　冷挤压常用润滑方法

润滑剂	说　　明
皂质润滑剂（一般情况下采用）	坯料浸没在65～90℃的稀释皂质溶液中3～5min，在毛坯表面生成一层难溶于水的金属脂肪酸（硬脂酸锌）。这层覆盖层有高度润滑作用，在挤压中的高压条件下仍能在工件和模具之间保有一层薄膜。如果配方中含有硼砂或在浸入皂质溶液前用硼砂液淋洗，则可使润滑层稳定至250℃。皂化法的配方见表2-24 在磷化液中如含有Zn和Ca，则生成的含锌钙的碳酸盐覆层，据试验可耐热至300℃。虽然脂肪酸盐和磷化锌反应生成的润滑剂对钢挤压效果最好，但在使用时需要有防护措施。因为如果脂肪酸盐在凹模里堆积，则工件不会完全充满。最好的做法是给所有凹模开孔，使脂肪酸盐能从孔中排出，并在凹模上保持有一层矿物密封油来防止脂肪酸盐附到模具上

（续）

润滑剂	说　　明
含有各种添加剂到乳化油（挤压变形小时采用）	挤压变形较小时可用含有各种添加剂的乳化油，可通过添加表面活性剂来提高其吸附性。另外一些有或没有添加剂的皂化润滑剂能用在钢件的轻度挤压中，这类润滑剂不能和磷酸盐覆层发生化学反应，但可以被磷酸盐覆盖层吸收
磷化工件干燥后即使用（挤压变形程度大时采用）	可将磷化工件浸在5% ~10%（质量分数）二硫化钼的悬浮液（80℃）中，取出干燥后即可使用。挤压变形程度极大时可将磷化—皂化后的工件辊涂或浸在二硫化钼悬浮液中，使皂化层再覆盖一层二硫化钼
磷化工件干燥后采用猪油拌二硫化钼即可使用	在磷化处理以后不采用皂化润滑，而采用猪油拌二硫化钼进行润滑，也有较好的效果。动物油、矿物油和植物油均含有相当数量的脂肪酸，能够在坯料表面形成坚固的薄膜，润滑效果好。在这三类油中，动物油的脂肪酸含量最高，润滑效果最好。矿物油（如石蜡、机油、凡士林等）基本上不含有活性物质，其油膜强度低，承压能力仅为植物油的1/3，效果较动物油与植物油为差。二硫化钼拌在猪油之中可以显著降低摩擦因数，改善润滑性能

表 2-24　皂化法的配方

配方 1	硬脂酸钠	6 ~9g/L	皂化层厚度约为 0.06 ~0.10mm。如果没有现成的硬脂酸钠，则可按以下比例配制 硬脂酸　67g/L 氢氧化钠　8g/L 水　1L 将三者在容器内加热到 90℃以上，搅拌 1 ~2h，直至溶液变为透明黄色，即可得到硬脂酸钠。制备后可长期保留使用 将三者在容器内加热到 90℃以上，搅拌 1 ~2h，直至溶液变为透明黄色，即可得到硬脂酸钠。制备后可长期保留使用
	水	1L	
	处理温度	60 ~70℃	
	处理时间	10min	
配方 2	工业皂片（脂肪质量分数为 84%）	200 ~220g/L	经过皂化可以得到牢固地粘结于磷化层表面上的硬脂酸锌润滑层，其润滑性能很好。很多工厂将磷化、皂化（磷化后才能皂化，否则皂化不上）后的坯料直接进行冷挤压。如果将皂化后的坯料再用工业菜油（或豆油）润滑，正挤压时还可以降低挤压力 15%
	水	1L	
	处理温度	50 ~60℃	

几种材料冷挤压的表面处理与润滑见表 2-25。

表 2-25　几种材料冷挤压的表面处理与润滑

材料	处理方法	表面处理溶液的配方	时间/mm	温度/℃	常用润滑剂
碳钢	磷化	氧化锌　169g 磷酸　283g 硝酸　259g 水　289g	20 ~30	95 ~98	皂化液，磷化—皂化后用水、凡士林和树脂中调入二硫化钼润滑，高黏度高硫油、牛脂、棕榈油、菜油等

（续）

材料	处理方法	表面处理溶液的配方	时间/mm	温度/℃	常用润滑剂
不锈钢	草酸盐处理	草酸 50g 钼酸铵 30g 氯化钠 25g 氟化氢钠 10g 亚硫酸钠 3g 水 1L	15～20	90	氯化石蜡（质量分数为85%）+二硫化钼（质量分数为15%）、牛脂、二硫化钼或硬脂酸等
黄铜	钝化处理	铬酐 200～300g/L 硫酸 8～10g/L 硝酸 30～50g/L	20	5～15	工业豆油、菜油、蓖麻油、硬脂酸锌粉
纯铝（1070A）					硬脂酸锌、硬脂酸锰粉、民用肥皂粉等
硬铝（2A11、2A13）	氧化处理	氢氧化钠 40～60g/L	1～3	50～70	豆油、菜油、蓖麻油
钛及钛合金	氟化磷酸盐化学涂层				在涂层坯料上加含有石墨的树脂润滑剂

第 3 章　冷挤压零件设计

冷挤压零件设计是根据冷挤压变形的需要，对原产品零件图进行适当修改，使之具有良好的挤压工艺性，设计成适于冷挤压加工的零件图。冷挤压零件设计是冷挤压工艺设计的基础。

3.1　冷挤压零件的分类

适合于进行冷挤压加工的零件是很多的，为了根据冷挤压件的形状和尺寸合理地决定变形工序，可对冷挤压件进行分类，凡遇到相近形状的零件，可以采用相类似的变形工序。

按照冷挤压件主轴线尺寸的特征及其轮廓形状，可以分为七种类型，见表 3-1。根据在冷挤压件主体形状上存在的从属部分的状态，还可以把这七种基本类型进一步分成若干小类。表 3-1 列有冷挤压件的主要类型与组别，以及每组中的典型形状和变体形状，并用直观的图像说明了这种分类方法。

表 3-1　冷挤压零件类别

类别	挤压件名称	挤压件特征		挤压件分组				
				单阶	多阶	端面带凹窝	端面带浅孔	锥形过渡
Ⅰ	阶梯轴类	1	单向台阶					
		2	双向台阶					
				直孔	阶梯孔	带凹窝	双向带孔	锥孔
Ⅱ	套筒类	1	不通孔					
		2	附有凸体					
		3	通孔					

（续）

类别	挤压件名称	挤压件特征		挤压件分组				
				单阶	多阶	不通孔	通孔	锥形过渡
Ⅲ	凸缘类	1	一端带凸缘					
		2	中间带凸缘					
				实心体	带直孔	带锥孔	细小孔径	双向带孔
Ⅳ	盘形类	1	板状					
		2	附有凸体					
				整体锥形	单向台阶		双向台阶	
Ⅴ	锥形类	1	外部带锥形					
		2	附有锥孔					
				双向	三向	四向	六向	
Ⅵ	枝芽类	1	外部					
		2	内部					

（续）

<table>
<tr><td rowspan="2">类别</td><td rowspan="2">挤压件名称</td><td rowspan="2">挤压件特征</td><td colspan="5">挤压件分组</td></tr>
<tr><td>单阶</td><td>多阶</td><td>不通孔</td><td>通孔</td><td>锥形过渡</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ⅶ</td><td rowspan="2">齿轮或花键类</td><td rowspan="2"></td><td>外向</td><td colspan="2">内向</td><td colspan="2">内外向</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

3.2　毛坯尺寸计算

选择毛坯尺寸时，不仅要使从毛坯到挤压件的工序尽可能少，而且还必须考虑毛坯是否要经过冷镦、校形、减径等预成形工序。具体设计时需要注意两个问题：首先，为了便于冷剪下料，毛坯的长径比应控制在 1 以上，即毛坯的长度要等于或大于其直径，过短的毛坯不适合于冷剪。其次，当剪切毛坯的直径与挤压工艺要求的尺寸相差较大时，通常要采取冷镦的办法将截面加大。为了防止冷镦时的开裂，必须对材料的冷镦变形程序加以控制。也就是说，在确定毛坯尺寸时，既要考虑到冷剪下料的工艺要求，也要考虑到将冷镦变形程度控制在材料加工的许用范围之内。

1. 毛坯体积

毛坯的体积是根据挤压件图按照毛坯体积等于挤压件体积的原则计算的。如果冷挤压还要进行切削加工，则计算毛坯体积时还应加上修边余量，即

$$V_0 = V_p + V_s \tag{3-1}$$

式中　V_0——毛坯体积（mm^3）；

V_p——挤压件体积（mm^3）；

V_s——修边余量的体积（mm^3）。

不同挤压件的修边余量 Δh 可参照表 3-2、表 3-3 选取。挤压件体积的计算可先将挤压件分成若干个简单的几何形状，分别算出这些简单几何形状的体积（见表 3-4），然后相加，其和即为挤压件的体积。

表 3-2　轴对称冷挤压件高度修边余量 Δh 值　（单位：mm）

挤压件高度	10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
修边余量 Δh	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

注：1. 当挤压件高度大于 10mm 时，修边余量为高度的 5%。

2. 复合挤压件的修边余量应适当加大。

3. 矩形挤压件的修边余量，按表中所列数据加倍。

表 3-3　大量生产铝质外壳所用的修边余量 Δh 值　（单位：mm）

挤压件高度	15 ~ 20	20 ~ 50	50 ~ 100
修边余量 Δh	8 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20

注：表中所列数值适用于大量生产壁厚为 0.3 ~ 0.4mm 的薄壁铝制反挤压杯形件。

表 3-4　各种简单几何形状体积的计算公式

名称	简　　图	体积计算公式
圆板		$V = 0.785D^2 t$
圆环		$V = 0.785(D^2 - d^2)t$
圆筒		$V = 1.57ht(D + d)$
圆锥筒		$V = \frac{\pi h}{12}(D_2^2 - D_1^2 + D_2 d_2 - D_1 d_1 + d_2^2 - d_2^2)$
圆锥体		$V = 0.2618(D^2 + Dd + d^2)h$
球缺		$V = \pi h^2\left(r - \frac{h}{3}\right)$
球带		$V = 0.526h\left(\frac{3B^2}{4} + \frac{3b^2}{4} + h^2\right)$

（续）

名称	简 图	体积计算公式
方板	t B A	$V=ABt$
方孔板	t b₁ b a₁ a	$V=(ab-a_1b_1)t$ 当为正方孔板时，$a=b,a_1=b_1$ 则 $V=(a^2-a_1^2)t$
方孔筒	t h b₁ b a₁ a	$V=(ab-a_1b_1)h$ 当为正方孔筒时，$a=b,a_1=b_1$， 则 $V=(a^2-b_1^2)h=(a+b_1)(a-b_1)h$ $=2(a+b_1)th$
正棱台	h a₁ h₁ h₂ a₂	$V=\frac{1}{3}h(A_1+A_2+\sqrt{A_1A_2})$ 其中 A_1、A_2—顶、底面积 $A_1=\frac{n}{2}a_1h_1 \quad A_2=\frac{n}{2}a_2h_2$ 其中 n—边数 a_1、a_2—边长 h_1、h_2—弦高

2. 毛坯内外径

毛坯的内外径尺寸可根据凸模与凹模的相应尺寸决定。通常情况下，毛坯的外径尺寸要接近成品零件的直径。为了便于将毛坯自由地放入模具型腔内，毛坯外径应比凹模型腔尺寸小0.1～0.2mm。为了便于将凸模伸入毛坯内孔，毛坯内孔一般比凸模相应尺

寸大 0.05 ~0.1mm，若制件孔的尺寸精度要求不高，则可大 0.1 ~0.2mm；若制件孔的尺寸精度要求较高，则只能大 0.01 ~0.05mm。对于反挤压壁厚精度要求较高的杯形件，在保证毛坯自由地放入模具型腔的情况下，间隙越小越有利。在使用硬质合金模具时，间隙一般为 0.02mm 左右。因此，毛坯的外径尺寸 D_0 可以用下式表示：

$$D_0 = D_{件} - Z \tag{3-2}$$

式中　$D_{件}$——挤压件的外径（mm）；

Z——毛坯与模具之间的间隙（mm）。

毛坯径向尺寸确定以后，就可算出横截面积。

3. 毛坯高度

毛坯的体积及横截面积确定以后，它的高度可由下式求得

$$h_0 = \frac{V_0}{A_0} \tag{3-3}$$

式中　h_0——毛坯高度（mm）；

V_0——毛坯体积（mm）；

A_0——毛坯的横截面积（mm^2）。

表 3-5 列出常见挤压件的毛坯高度的计算公式。

表 3-5　各种形状毛坯高度的计算公式

序号	挤压件形状	毛坯形状	毛坯高度计算公式
1	D d_1	D H	$H = \frac{4V}{\pi D^2}$ V—毛坯体积
2	D d d_1	D d H	$H = \frac{4V}{\pi(D^2 - d^2)}$

（续）

序号	挤压件形状	毛坯形状	毛坯高度计算公式
3			$H = h_1 + h_2\left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)$
4			$H = h_1 + h_2 - \frac{ABh_1}{0.785D^2}$ 当 $A = B$ 时 $H = h_1 + h_2 - \frac{A^2 h_1}{0.785D^2}$
5			$H = h_1 + h_2 - \frac{abh_1}{AB}$ 当 $A = B$ 或 $a = b$ 时 $H = h_1 + h_2 - \frac{a^2 h_1}{A^2}$
6			$H = h_1 + h_2 - 0.785\,\frac{d_1^2 h_1}{AB}$ 当 $A = B$ 时 $H = h_1 + h_2 - 0.785\,\frac{d_1^2 h_1}{A^2}$
7			$H = b + h \times \frac{d^2}{D^2}$

（续）

序号	挤压件形状	毛坯形状	毛坯高度计算公式
8			$H = b + h\left(\frac{D_1^2 - d^2}{D^2 - d^2}\right)$
9			$H = h_1 + h_2 - \frac{h_1(D_1^2 - d^2 + d_1^2)}{D^2}$
10			$H = h_2 + \frac{h_1(D^2 - D_1^2) + h_3(d_1^2 - d^2)}{D^2 - d^2}$

4. 毛坯尺寸

毛坯尺寸的确定方法见表3-6，确定毛坯尺寸的计算步骤如下：

表3-6　毛坯尺寸的确定方法

类别	工艺特点	图　示	毛坯直径	计算要点	说　明
1	挤压件形状简单 一道工序挤压成形 冷剪下料		$d_0 \approx D_0$	$d_0 \leqslant h_0$ $(h_0/h_0 \geqslant 1)$ $D_0 - d_0 = 0.05 \sim 0.02$	d_0—毛坯外径 h_0—毛坯高度 D_0—挤压模腔直径

（续）

类别	工艺特点	图　　示	毛坯直径	计算要点	说　　明
2	一般精度挤压件 冷剪下料冷镦制坯	d_0 h_0 d_1 h_1	$d_0 < d_1 < D_0$	$d_0 \leqslant h_0$ $\frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\% \leqslant \varepsilon_{h许}$	d_1—冷镦后毛坯直径 h_1—冷镦后毛坯高度 $\varepsilon_{h许}$—冷镦粗许用变形程度
3	挤压件精度较高 冷剪下料 冷镦、校形制件	d_0 h_0 d_1 h_1 d_2 h_2	$d_0 < d_1 < D_0$ $d_2 \approx D_0$	$h_0 \leqslant h_0$ $\frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\% \leqslant \varepsilon_{h许}$ $d_1 = d_2 - (0.2 \sim 0.5)$ $d_2 = D_0 - (0.02 \sim 0.05)$	d—校形后毛坯外径
4	复杂形状挤压件 多道工序挤压成形	d_0 d_1 d_2 d_1 d_2 d_3 d_2	$d_0 \approx d_1$	$d_2 < d_0 < d_3$	d_1—半成品外径 d_2、d_3—挤压件外径 毛坯直径取决于中间工序形状的轮廓尺寸

1）首先假定一种棒料直径 d_0。

2）计算毛坯高度 h_0。

3）计算毛坯的高度与直径之比 h_0/d_0，$h_0/d_0 \geqslant 1$。

4）校核冷镦变形率，设冷镦后毛坯高度为 h_1，则$\frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100\% \leqslant \varepsilon_{h许}$。

3.3　冷挤压的变形程度

1. 许用变形程度

冷挤压时每道加工工序所允许采用的变形程度，称为许用变形程度。最大的许用变形程度受模具钢许用的单位压力和变形金属的塑性限制。许用变形程度越大，则生产率就越高，变形工序就越少。但这样单位压力也要增大，这就有可能超出模具所允许的单位压力，导致模具的损坏。因此，许用变形程度的大小应严格控制。

正、反挤压件变形程度的具体计算见表 3-7。

表 3-7　正、反挤压件变形程度的计算公式

序号	名称	毛坯尺寸	工件尺寸	计算公式
1	正挤压实心工件			$\varepsilon_A=\frac{d_0^2-d_1^2}{d_0^2}\times 100\%$ $G=\frac{d_0^2}{d_1^2}$ $\varepsilon_c=\ln\frac{d_0^2}{d_1^2}$ ε_A—断面缩减率 G—挤压比 ε_c—对数变形程度
2	正挤压空心工件			$\varepsilon_A=\frac{d_0^2-d_1^2}{d_0^2-d_2^2}\times 100\%$ $G=\frac{d_0^2-d_2^2}{d_1^2-d_2^2}$ $\varepsilon_c=\ln\frac{d_0^2-d_2^2}{d_1^2-d_2^2}$
3	反挤压工件			$\varepsilon_A=\frac{d_1^2}{d_0^2}\times 100\%$ $G=\frac{d_0^2}{d_0^2-d_1^2}$ $\varepsilon_c=\ln\frac{d_0^2}{d_0^2-d_1^2}$

许用变形程度，即挤压加工所容许的变形程度。其数值取决于挤压材料的塑性和变形抗力的大小，模具材料的性能及其承载能力的大小。常用材料的许用变形程度 ε_A 见表 3-8。

（1）有色金属的许用变形程度　由于有色金属冷挤压时所需的单位挤压力较小，因此，在不超过模具材料的许用单位压力的条件下，所允许的变形程度是很高的。表 3-9 列出了常用的有色金属一次冷挤压的许用变形程度。

表 3-8　常用材料的许用变形程度

材料		正挤压	反挤压	材料		正挤压	反挤压
		断面缩减率 ε_A（%）				断面缩减率 ε_A（%）	
铝及铝合金	1070A	97～99	90～99	优质碳素钢	10	82～87	75～80
	5A03	95～98	90～95		15	80～82	70～73
	2A11，2A12	90～92	75～82		35	55～63	50
					45	45～48	40
铜及铜合金	T1，T2	92～95	85～90	合金结构钢	15Cr	53～63	42～50
	H62	75～87	75～78		35CrMo	50～60	40～45

表 3-9　有色金属一次冷挤压的许用变形程度

金属材料的种类	冷挤压方式	断面缩减率 ε_A（%）	备　注
铅、锡、锌、铝等软金属	正挤压	90～95	低强度的金属取上限，高强度的金属取下限
	反挤压	90～95	
无氧铜、纯铜、黄铜、硬铝、镁	正挤压	95～99	
	反挤压	70～90	

（2）钢的许用变形程度　按变形方式有以下两种情况。

1）正挤压的许用变形程度。钢正挤压时毛坯硬度与许用变形程度的关系如图 3-1 所示。该关系曲线的试验条件是：毛坯相对高度 $h_0/d_0=1.0$，经退火、磷化、皂化处理，凹模锥角 $\alpha=120°$，模具的许用单位压力分别为 2000MPa 和 2500MPa。

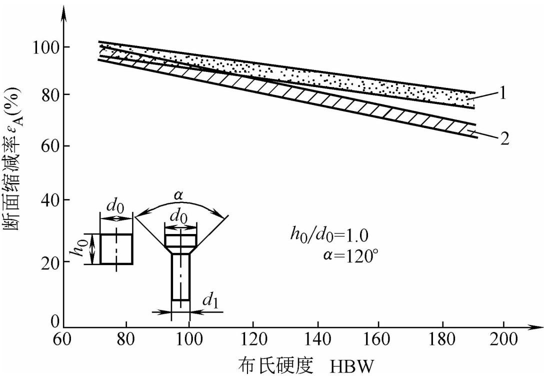


图 3-1　钢正挤压时毛坯硬度与许用变形程度的关系
1—许用单位压力为 2500MPa
2—许用单位压力为 2000MPa

图 3-1 中线 1 和线 2 可分别用下述直线方程式表示：

$$\varepsilon_{A(250)\max}=[(86\sim91)-0.14(\text{HBW}-70)]\%$$

$$\varepsilon_{A(200)\max}=[(85\sim90)-0.2(\text{HBW}-70)]\%$$

式中，$\varepsilon_{A(250)\max}$、$\varepsilon_{A(200)\max}$是相应于许用单位压力为 2500MPa、2000MPa 时的最大许用变形程度；HBW 是钢材退火后的布氏硬度。

2）反挤压的许用变形程度。钢反挤压时毛坯硬度与许用变形程度的关系如图 3-2 所示。该关系曲线的试验条件为：毛坯的相对高度 $h_0/d_0=1.0$，经退火、磷化、皂化处理，模具的许用单位压力分别为 2000MPa 和 2500MPa。

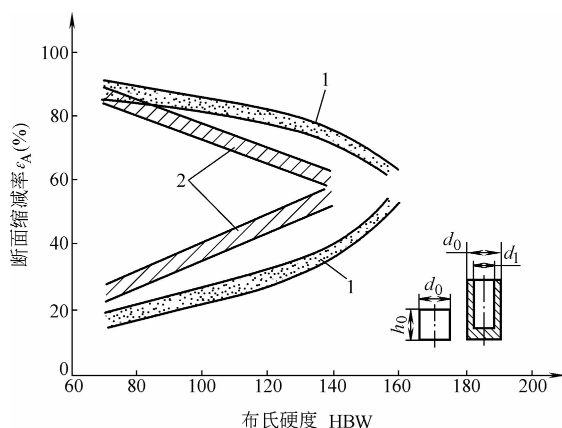


图 3-2　钢反挤压时毛坯硬度与许用变形程度的关系

1—许用单位压力为 2500MPa　2—许用单位压力为 2000MPa

图 3-2 中线 1 和线 2 也可用下列方程式来表示：

$$\varepsilon_{A(250)\max} = [(55 \sim 60) + 3.2\sqrt{160 - HBW}]\%$$

$$\varepsilon_{A(250)\min} = [(55 \sim 60) - 4.46\sqrt{160 - HBW}]\%$$

$$\varepsilon_{A(200)\max} = [(82 \sim 87) - 0.36\sqrt{HBW - 70}]\%$$

$$\varepsilon_{A(200)\min} = [(22.5 \sim 27.5) + 0.43\sqrt{HBW - 70}]\%$$

式中，$\varepsilon_{A(250)\max}$、$\varepsilon_{A(250)\min}$是相应于许用单位压力 2500MPa 时的最大、最小变形程度；$\varepsilon_{A(200)\max}$、$\varepsilon_{A(200)\min}$是相应于许用单位压力 2000MPa 时的最大、最小变形程度；HBW 是毛坯退火后的布氏硬度。

2. 碳钢中碳含量对许用变形程度的影响

碳钢的许用变形程度又随碳含量的增加而减小，如图 3-3 ~ 图 3-5 所示。

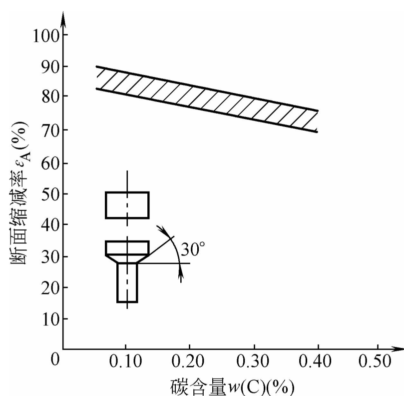


图 3-3　碳钢中碳含量对正挤压实心件许用变形程度的影响

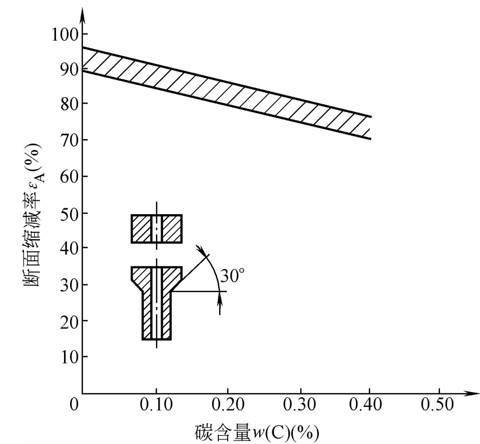


图 3-4　碳钢中碳含量对正挤压空心件用变形程度的影响

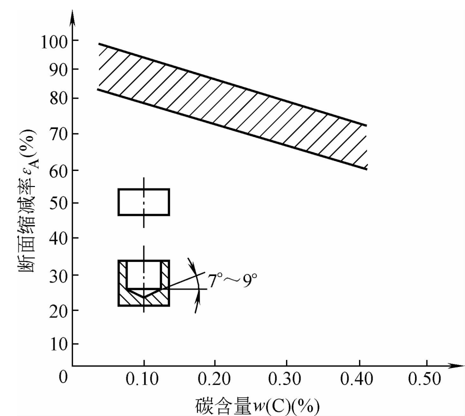


图 3-5　碳钢中碳含量对反挤压空心件用变形程度的影响

3.4　挤压件的尺寸精度

不同挤压方法获得的挤压件尺寸精度是不一样的，下面列出正挤压实心件及反挤压杯形件尺寸偏差的试验数据。

1. 正挤压实心件的尺寸精度

图 3-6 所示为正挤压实心件的基本形状及各部分尺寸代号。挤压件的杆部直径 d 的偏差以及与 d_0 轴心线的形成斜度 δ，如表 3-10 所示。该表适用于 $h_2/d\geqslant1.2$ 的正挤压实心件。锥角 α 的偏差一般为 ±1°。

表 3-10　低碳钢正挤压实心件的尺寸精度　（单位：mm）

挤压件直径 d			挤压件长度 h_2	
公称尺寸	偏差(±)		公称尺寸	斜度 δ/rad(±)
	普通精度(一般正挤压)	精密级(挤压后校整)		
10～18	0.05	0.008	<100	0.02～0.15
18～30	0.07	0.052	100～200	0.05～0.25
30～50	0.08	0.062	200～500	0.10～0.50
50～80	0.10	0.074	500～700	0.20～1.50
80～100	0.12	0.087	700～1200	0.50～2.00

2. 反挤压杯形件的尺寸精度

图 3-7 所示为反挤压杯形件的基本形状及部分尺寸代号。外径 D、内径 d、壁厚 t、底厚 s 的偏差，当 $h_2/D\leqslant1.2$、$t=2\sim15$mm 时如表 3-11 所示，当 $h_2/D\geqslant1.2$、$t=0.6\sim6$mm 时如表 3-12 所示。

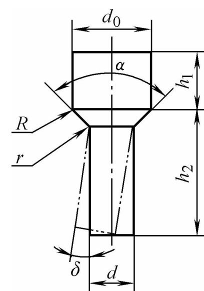


图 3-6　正挤压实心件的基本形状及各部分尺寸代号

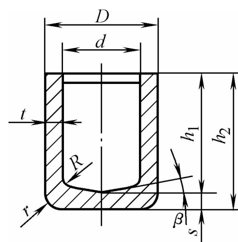


图 3-7　反挤压杯形件的基本形状及各部分尺寸代号

表 3-11　低碳钢反挤压厚壁杯形件的尺寸精度　　（单位：mm）

外径 D			内径 d	
公称尺寸	偏差(±)		偏差(±)	
	普通精度(一般挤压)	精密级(挤压后校整)	普通精度(一般挤压)	精密级(挤压后校整)
0 ~ 10	0.08	0.05	0.10	0.05
10 ~ 30	0.10	0.06	0.10 ~ 0.20	0.05 ~ 0.10
30 ~ 40	0.12	0.07	0.15 ~ 0.25	0.10 ~ 0.15
40 ~ 50	0.15	0.10	0.20 ~ 0.25	0.10 ~ 0.15
50 ~ 60	0.20	0.12	0.20 ~ 0.30	0.12 ~ 0.20
60 ~ 70	0.22	0.15	0.20 ~ 0.30	0.15 ~ 0.25
70 ~ 80	0.25	0.17	0.20 ~ 0.35	0.15 ~ 0.25
80 ~ 90	0.30	0.20	0.25 ~ 0.40	0.20 ~ 0.30
90 ~ 100	0.35	0.22	0.30 ~ 0.45	0.25 ~ 0.35
100 ~ 120	0.40	0.25	0.35 ~ 0.50	0.30 ~ 0.40

壁厚 t		
公称尺寸	偏差(±)	
	普通精度(一般挤压)	精密级(挤压后校整)
<2	0.10	0.05
2 ~ 10	0.15	0.10
10 ~ 15	0.20	0.15

底厚 s		
公称尺寸	偏差(±)	
	普通精度(一般挤压)	精密级(挤压后校整)
<2	0.15 ~ 0.20	0.10
2 ~ 10	0.20 ~ 0.30	0.15
10 ~ 15	0.25 ~ 0.30	0.20
15 ~ 25	0.30 ~ 0.40	0.25
25 ~ 40	0.40 ~ 0.50	0.35

表 3-12　低碳钢反挤压薄壁杯形件的尺寸精度　（单位：mm）

外径 D			内径 d	
公称尺寸	偏差（±）		偏差（±）	
	普通精度（一般挤压）	精密级（挤压后校整）	普通精度（一般挤压）	精密级（挤压后校整）
0~10	0.1	0.020	0.05	0.020
10~30	0.1	0.020	0.05~0.07	0.020~0.040
30~40	0.1	0.020	0.08~0.10	0.020~0.040
40~50	0.1	0.025	0.10~0.012	0.025~0.040
50~60	0.1	0.030	0.12~0.14	0.030~0.050
60~70	0.2~0.3	0.035	0.15~0.18	0.035~0.050
70~80	0.2~0.3	0.040	0.18~0.20	0.040~0.050
80~90	0.2~0.3	0.050	0.20~0.24	0.050~0.080
90~100	0.2~0.3	0.060	0.025~0.30	0.060~0.090
100~120	0.3	0.080	0.30~0.40	0.080~0.100
120~140	0.4	0.120	0.40~0.50	0.100~0.120

壁厚 t			底厚 s		
公称尺寸	偏差（±）		公称尺寸	偏差（±）	
	普通精度（一般挤压）	精密级（挤压后校整）		普通精度（一般挤压）	精密级（挤压后校整）
<0.6	0.05~0.10	0.020	2~10	0.20~0.30	0.12
0.6~1.2	0.07~0.10	0.020	10~15	0.25~0.35	0.15
1.2~2.0	0.10~0.15	0.025	15~25	0.30~0.40	0.20
2.0~3.5	0.12~0.15	0.030	25~40	0.35~0.50	0.25
3.5~6.0	0.15~0.20	0.040	40~50	0.40~0.50	0.30
<2	0.15	0.10	50~70	0.45~0.60	0.35

3.5　冷挤压力的计算

3.5.1　冷挤压力的计算分析

在冷挤压设计工作中挤压力的计算公式，仍可采用一般锻压工艺中计算变形力的通式，即

$$P = cpA \tag{3-4}$$

式中　P——挤压力（kN）；

p——平均单位挤压力，习惯上称为单位挤压力（MPa）；

A——凸模与毛坯直接接触表面在水平面上的投影面积（mm^2）；

c——安全系数，考虑到材质的波动、软化、表面润滑处理的质量波动等意外因素的影响，一般取 $c \geqslant 1.3$。

由式（3-4）可知，计算冷挤压力 P 的主要内容是如何确定冷挤压的平均单位挤压力 p。

应该指出，作用在凸模与凹模上的单位挤压力 p 的最大值，在正挤压与反挤压中是不同的，如图 3-8 所示。

正挤压（见图 3-8a）时，作用在凸模上的单位挤压力为

$$p_{凸} = \frac{P}{A_0} \tag{3-5}$$

作用在凹模上的单位挤压力为

$$p_{凹} = \frac{P}{A_0 - A_1} \tag{3-6}$$

很显然，$p_{凹} > p_{凸}$，即作用在凹模上的单位挤压力大于作用在凸模上的单位挤压力。此时，作用在凹模上的单位挤压力最大。

反挤压（见图 3-8b）时，作用在凸模上的单位挤压力为

$$p_{凸} = \frac{P}{A_2} \tag{3-7}$$

作用在凹模上的单位挤压力为

$$p_{凹} = \frac{P}{A_0} \tag{3-8}$$

很显然，$p_{凸} > p_{凹}$，即作用在凸模上的单位挤压力大于作用在凹模上的单位挤压力。此时，作用在凸模上的单位挤压力最大。

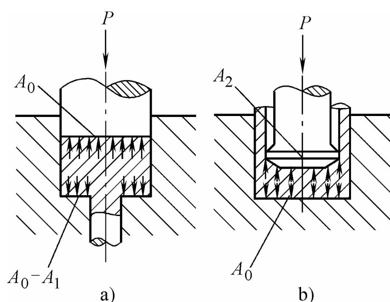


图 3-8　作用在模具上的压力状态
a）正挤压　b）反挤压

3.5.2　冷挤压力的计算方法

在冷挤压过程中，由于一系列工艺因素的影响，挤压力是难以准确计算的，尤其是形状复杂工件的挤压力尚无完善的计算方法及实用可靠的公式或图表。目前，计算冷挤压时的挤压力有简易计算法、图算法及图形分析法等常用的方法。

1. 简易计算法

将从表 3-13 中查取各种不同材料的单位挤压力的近似值，再乘以挤压的真实作用面积，即可求出近似的挤压力，计算式为

$$P = pA \tag{3-9}$$

式中　A——挤压的作用面积（mm^2），形状复杂的工件按投影面积进行计算；

p——单位挤压力（MPa），由表 3-13 查取。

实践证明，按上述经验数据进行的估算，与实际情况是接近的，基本能够满足要求。

2. 图算法

图算法亦称诺模图法。它是假设在冷挤压过程中，金属处于均匀的变形状态，并考虑到挤压件的断面缩减率、毛坯尺寸及材料的力学性能、模具工作部分的形状等因素的影响而得出的。运用图算法的另一条件是：毛坯在挤压前进行过软化、表面处理及润滑处理。

（1）钢铁材料正挤压单位挤压力的图算法　正挤压实心件单位挤压力的算图如图 3-9 所示。正挤压空心件单位挤压力的算图如图 3-10 所示。

表 3-13　挤压时单位挤压力的近似值

材料	变形状态					
	正挤压		反挤压		封闭校形	
	断面缩减率 ε_A(%)	单位挤压力 p/MPa	断面缩减率 ε_A(%)	单位挤压力 p/MPa	断面缩减率 ε_A(%)	单位挤压力 p/MPa
纯铝	97～99	600～800	97～99	≈800	30～50	
铝合金	92～95	800～1000	75～82	800～1200	30～50	1000～1600
黄铜	75～87	800～1200	75～78	800～1200	30～50	1000～1600
10 钢	50～80	1400～2000	40～75	1600～2200	30～50	1000～1600
30 钢	50～70	1600～2500	40～70	1800～2500	30～50	1600～2000
50 钢	40～60	2000～2500	30～60	2000～2500	30～50	1800～2500

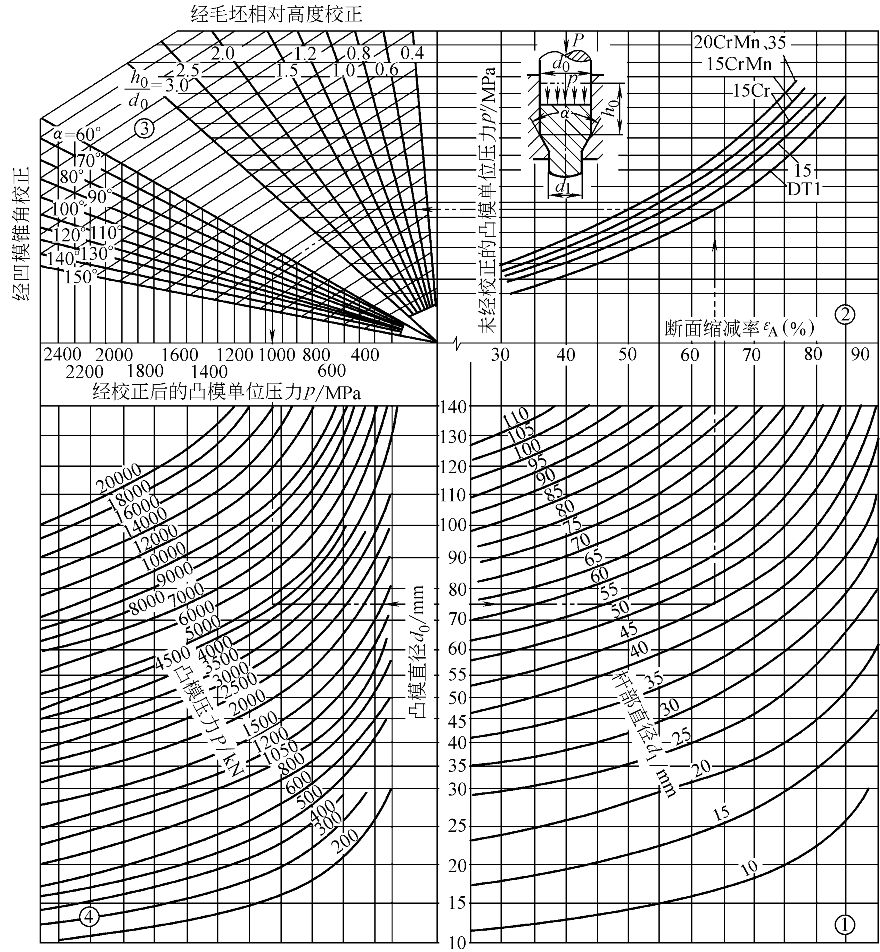


图 3-9　钢铁材料正挤压实心件的单位挤压力算图

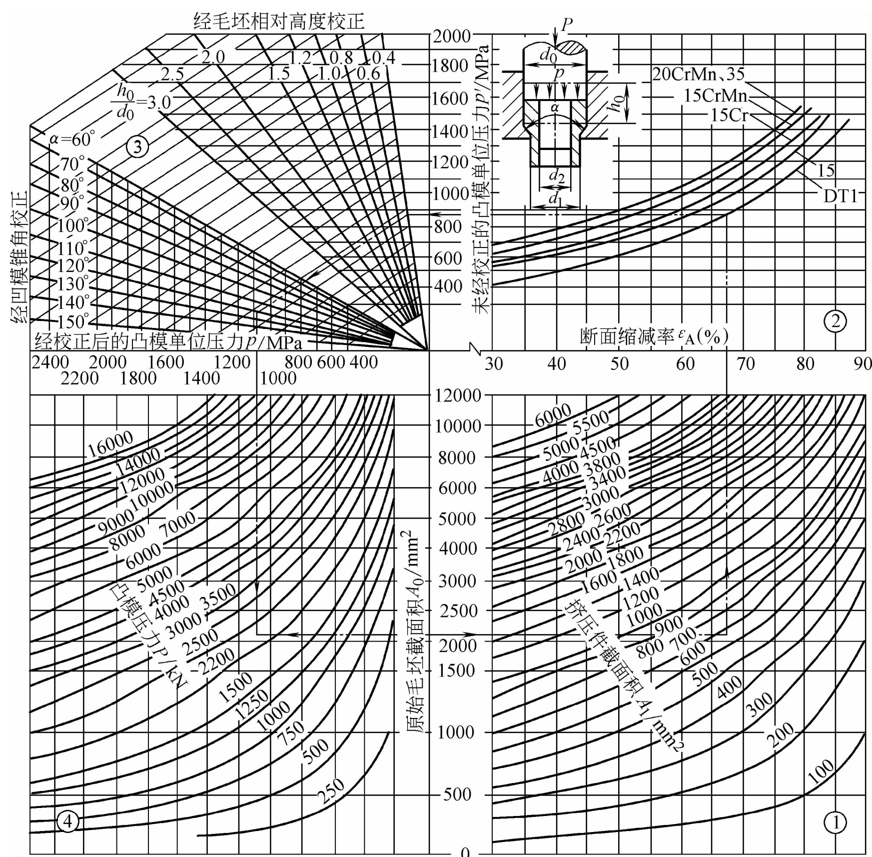


图 3-10　钢铁材料正挤压空心件的单位挤压力算图

查图方法：按图中箭头所指方向前进，可查得所需求的单位挤压力和总挤压力。

例如，求实心件正挤压时单位挤压力和总挤压力：设毛坯直径 $d_0=75\text{mm}$，挤压后杆径 $d_1=45\text{mm}$，毛坯高度 $h=110\text{mm}$，凹模锥角 $\alpha=90°$。材料为纯铁 DT1，查图 3-9 得单位挤压力 $p=1050\text{MPa}$，总挤压力 $P=4600\text{kN}$。

又例如，求空心件正挤压时单位挤压力和总挤压力：设毛坯直径 $d_0=95\text{mm}$，挤压件外径 $d_1=85\text{mm}$，内径 $d_2=80\text{mm}$，毛坯高度 $h_0=50\text{mm}$，凹模锥角 $\alpha=120°$，材料为纯铁 DT1，查图 3-10 得单位挤压力 $p=1080\text{MPa}$，总挤压力 $P=2230\text{kN}$。

（2）钢铁材料反挤压单位挤压力的图算法　反挤压钢铁材料杯形件的单位挤压力及总挤压力算图，如图 3-11 所示。

查图方法：按图中箭头所指方向前进，可查得所需求的单位挤压力和总挤压力。

例如，已知毛坯的直径 $d_0=70\text{mm}$，凸模直径 $d_1=58\text{mm}$，毛坯高度 $h_0=35\text{mm}$，材料为纯铁 DT1。查图 3-11，可得单位挤压力 $p=1660\text{MPa}$，总挤压力 $P=4400\text{kN}$。

应指出的是，以上算图只列出了部分金属材料，未列入的金属材料，可按其碳含量

在表中找出与其碳含量相接近的金属的挤压力，然后将这两种金属退火后的抗拉强度 R_m 的比值乘以表内查得的挤压力，就可得出被挤压材料的挤压力。

例如，求 GCr15 轴承钢正挤压实心件的单位挤压力，由资料可知，GCr15 与 35 钢碳含量不接近，GCr15 退火后的 $R_m = 650 \sim 750\text{MPa}$，35 钢退火后的 $R_m = 530 \sim 550\text{MPa}$。查图 3-9 得 35 钢相应尺寸的挤压件单位挤压力 $p = 2000\text{MPa}$，则 GCr15 的单位挤压力 $p \approx 2000 \times (750/550)\text{MPa} \approx 3000\text{MPa}$。

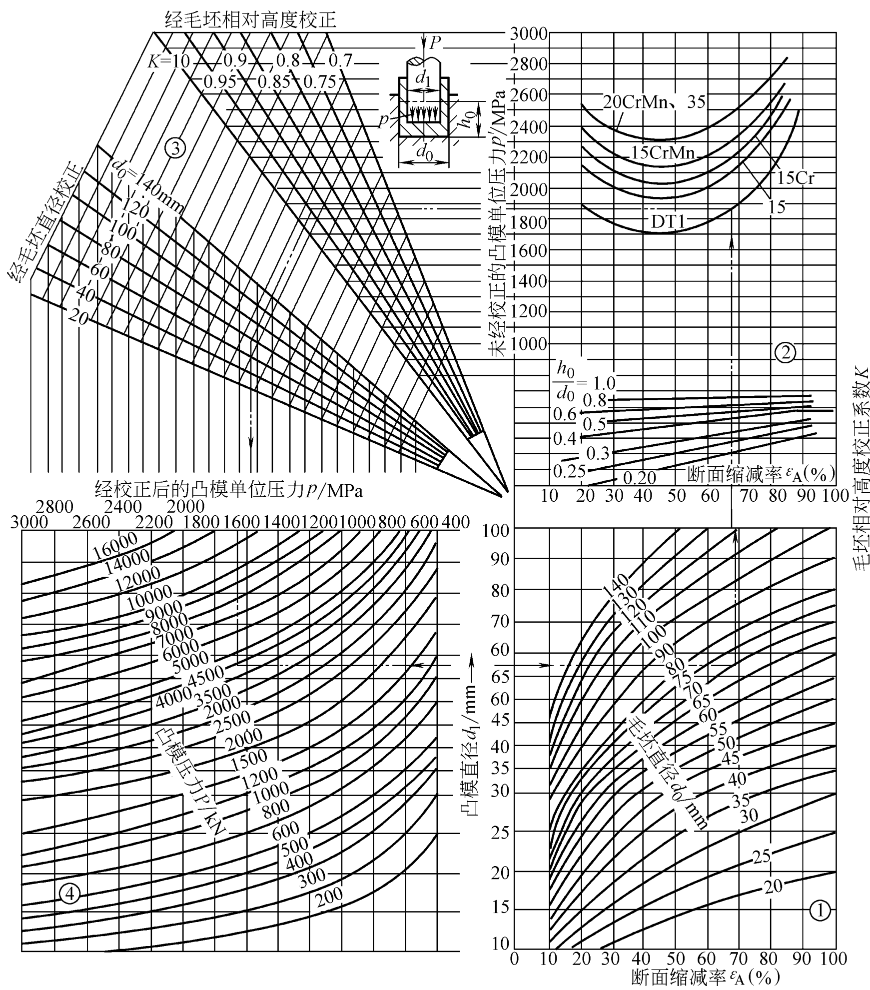


图 3-11　钢铁材料反挤压杯形件的单位挤压力算图

（3）有色金属冷挤压单位挤压力的图算法　有色金属正挤压实心件、空心件及反挤压杯形件的单位挤压力算图，如图 3-12 ~ 图 3-14 所示。图中 σ 为材料的平均变形抗力；η_F 为变形效率，随毛坯高度及断面缩减率不同而异。

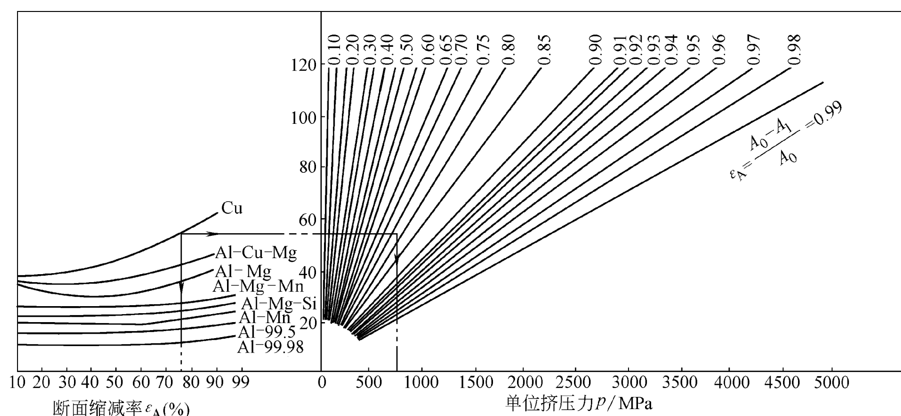


图 3-12　有色金属正挤压实心件的单位挤压力算图

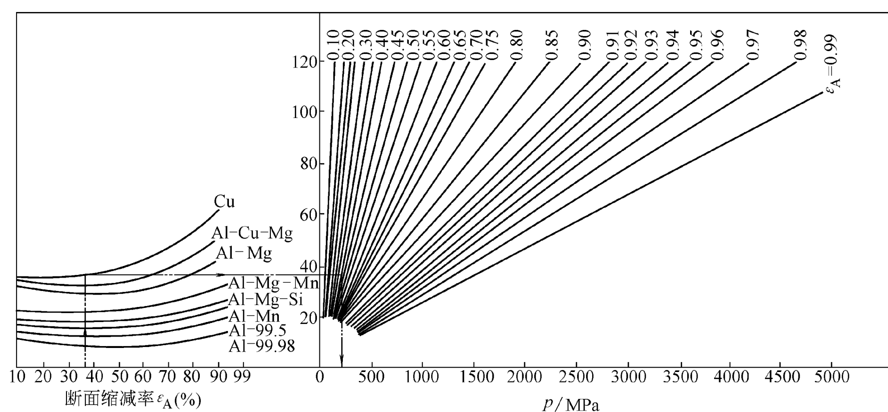


图 3-13　有色金属正挤压空心件的单位挤压力算图

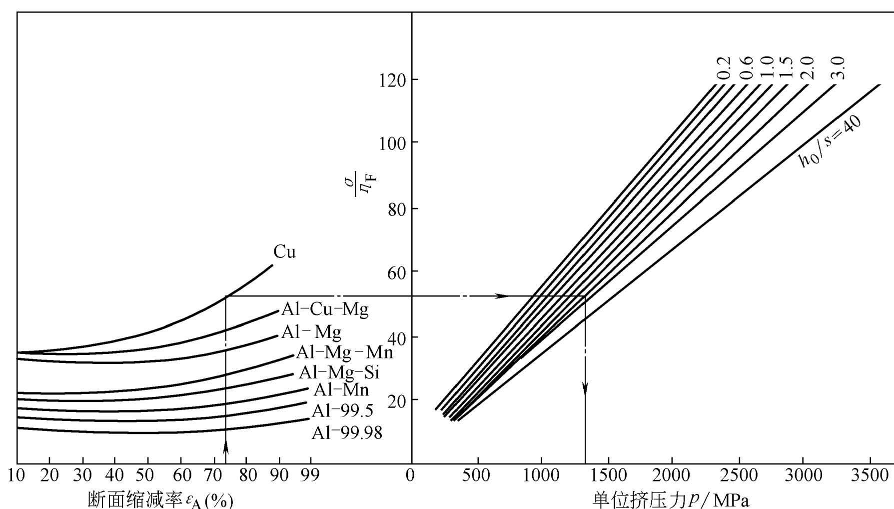


图 3-14　有色金属反挤压杯形件的单位挤压力算图

查图方法：按图中箭头所指方向，可查得所需求的单位挤压力。

例如，求铜材正挤压实心件的单位挤压力。已知毛坯直径 $d_0=50$mm，挤压件杆径 $d_1=24$mm，查图 3-12 得单位挤压力 $p=760$MPa。

（4）已知钢铁材料的维氏硬度求正挤压单位挤压力的图算法　以金属材料的种类作为影响因素作出的算图，不可能把所有的材料都列出来。未列入的材料必须按其碳含量的多少进行换算，这很不方便。图 3-15 及图 3-16 所示为以钢铁材料退火后的维氏硬度 HV 作为参数之一而作出的算图。这种算图硬度值是不一样的，因而得出的单位挤压力也应是不一样的。

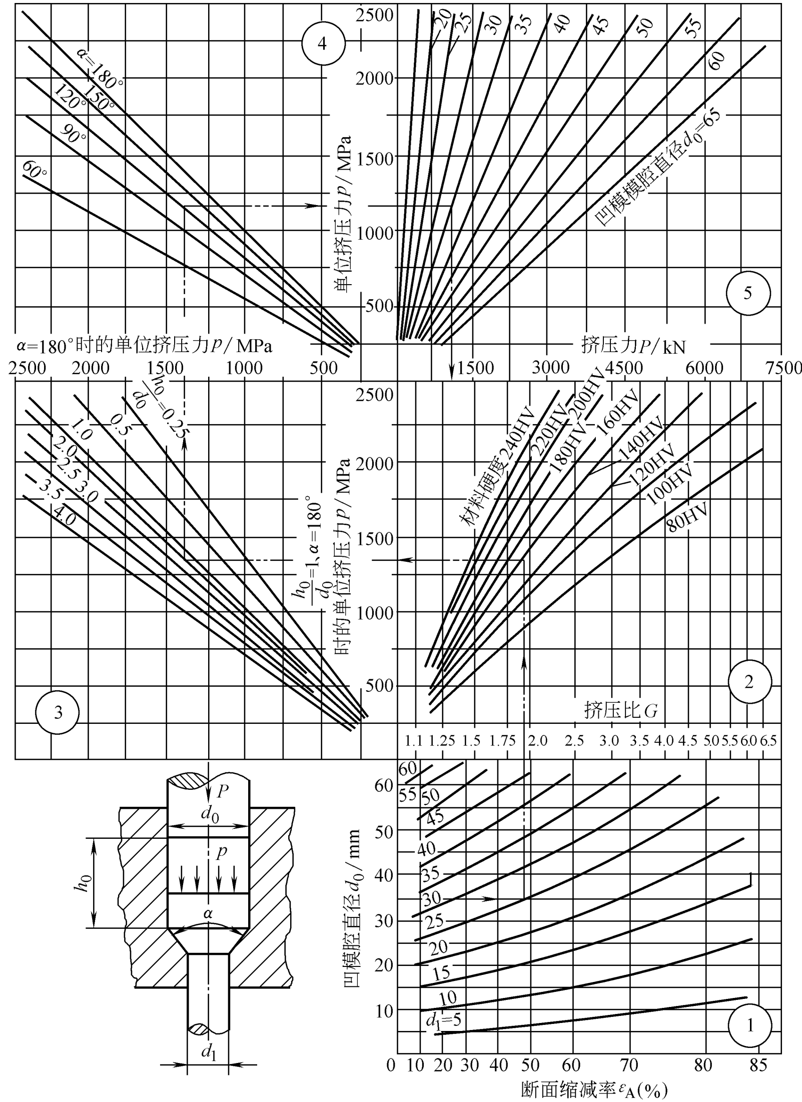


图 3-15　钢质实心件正挤压的单位挤压压力算图

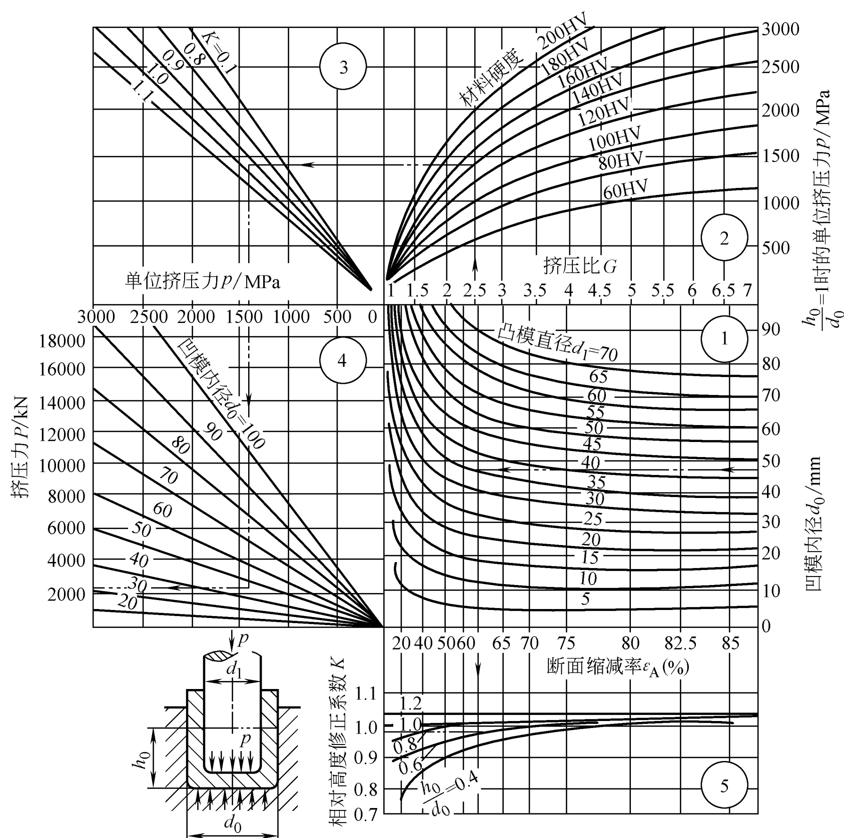


图 3-16　钢质杯形件反挤压的单位挤压力算图

查图方法：按图中箭头所指方向前进，可查得所需求的单位挤压力和总挤压力。

例如，求正挤压实心件的单位挤压力和总挤压力。已知毛坯直径 $d_0=35\text{mm}$，高度 $h_0=35\text{mm}$，挤压件直径 $d_1=25\text{mm}$，材料的维氏硬度为 140HV，凹模锥角 $\alpha=120°$，查图 3-15 可得单位挤压力 $p=1220\text{MPa}$，总挤压力 $P=1180\text{kN}$。

3. 图形分析法

简单形状的杆形或杯形件的挤压力，可以应用已有的经验公式或图表进行估算。但是，复杂形状工件的挤压力尚无完善的计算方法及实用可靠的列线图表。例如图 3-17 所示零件的正挤压，计算它的挤压力，没有现成的公式或图表可以直接采用。因此，必须具体分析并将其分解简化为简单形状的杯形件才能

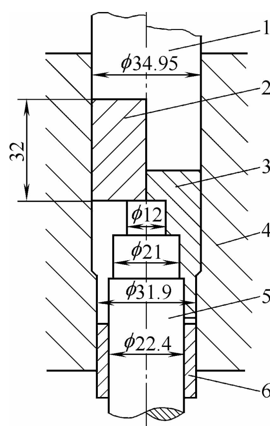


图 3-17　阶梯形件正挤压
1—凸模　2—毛坯　3—挤压件　4—凹模　5—下凸模　6—环形顶出套

进行计算，如图 3-18 所示。计算时首先将图 3-18a 所示挤压件的外部台阶 4 简化为直壁的筒形零件（见图 3-18b），这是第一次形状简化。由于 2、3 孔的尺寸相差较小，故可以把两个孔看为一个大孔，变成如图 3-18c 所示的形状，这是第二次形状简化。如果小孔 1 也单独考虑，那么第三次简化后的形状，就是一个简化形状的正挤压杯形件（见图 3-18d）。也可以首先按反挤压的杯形件（见图 3-18e）开始进行推算。至此，完成了最终的简化过程。这样，通过具体分析和简化之后，一个内外呈阶梯形状的复杂零件，便可当做一个典型的反挤压杯形件来计算所需挤压力，这样当然要简单和容易多了。

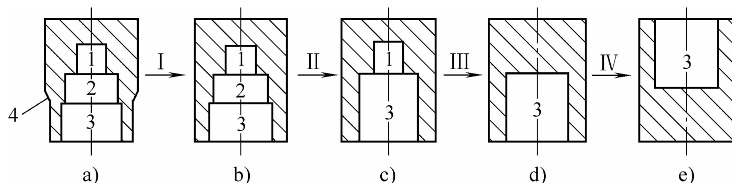


图 3-18　复杂形状计算力时的简化过程

1、2、3—孔　4—台阶

计算时，应从最终简化形状开始反过来推算。在计算过程中，再将其中每一种形状对挤压力的影响考虑进去，就可以逐步求出所需的挤压力。该反挤压杯形件（见图 3-18e）的挤压力为 P，求解它的数值有现成的公式和图表，不再赘述。若采用正挤压加工方法加工该杯形件（见图 3-18d）时，挤压力要高出 15% ~20%，如图 3-19 所示。此时的挤压力便为 1.2P。一般来说，阶梯孔将使挤压力增加 20% 左右，见图 3-20，所以图 3-18c 所示形状的挤压力将为 1.44P（1.2P×1.2）。由于阶梯孔（孔 2 和孔 3）的尺寸相差较小，其影响可略而不计，故图 3-18b 所示形状的挤压力仍为 1.44P。外部台阶 4（见图 3-18a）的影响，按挤压力增加 10% 考虑，所以该件图 3-18a 所示形状的挤压力便为 1.58P(1.44P×1.1)。若设此件的毛坯尺寸为 ϕ34.94mm×32mm，变形程度为 40%（图 3-18e)，按一般图表查出的挤压力为 800kN 左右。因此，图 3-17 所示正挤压阶梯形零件所需挤压力为 1264kN(800kN×1.58)。

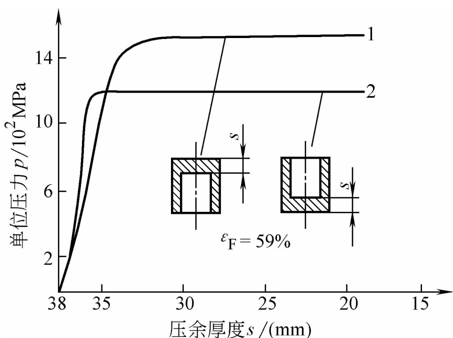


图 3-19　成形方法对挤压力的影响

1—正挤压　2—反挤压

因此，复杂形状零件挤压力的计算公式为

$$P = P_1 C_1 C_2 \tag{3-10}$$

式中　P_1——简单形状的杆形或杯形件的挤压力（N）；

C_1——形状复杂系数；

C_2——变形方式影响系数。

形状复杂系数，是由挤压件形状的复杂程度决定的，主要考虑阶梯形状对挤压力的影响，可以参照有关设计资料和试验曲线近似选取。如何确切选择形状复杂系数 C_1，显然与设计者的经验密切相关。变形方式影响系数，主要考虑正挤压和反挤压以及正反挤压与复合挤压之间变形力的差异，通常按增加20%左右进行选取，即 $C_2 \approx 1.2$。

因此，复杂形状零件挤压力计算的图解分析过程是：

1）将复杂形状的挤压件，逐步简化为形状简单的杆形或杯形件，作为计算的初始形状。

2）分析各形体之间的差异，并作为一个独立因素加以考虑。

3）综合分析图形分解、简化过程，将其作为计算实际挤压件冷挤压力的工艺模型。

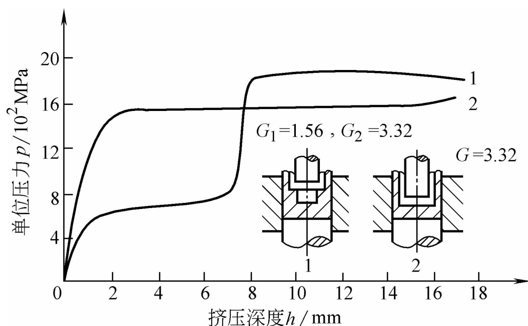


图 3-20　阶梯孔对挤压力的影响

1—阶梯孔反挤压　2—直孔反挤压

采用图解分析的方法求解挤压力，是一种简捷实用且行之有效的工程计算方法。这种方法的估算精度是足够满足要求的。

复合挤压的挤压力计算方法是：复合挤压所需的挤压力，等于或略低于变形程度较小的一方进行单向挤压时所需要的数值，见图 3-21 和图 3-22。这就是说，计算复合挤压的压力时，只需求解变形程度较小一方的挤压力数值。

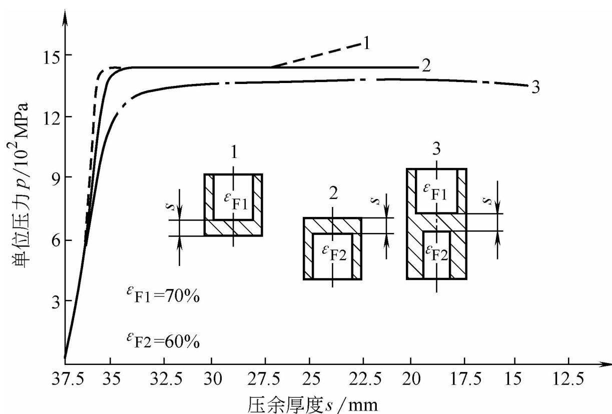


图 3-21　杯-杯形件复合挤压压力试验曲线

1—反挤压　2—正挤压　3—复合挤压

当复合挤压不限定某一方向的尺寸，即模具两端敞口双向金属自由流动时，其压力为

$$P_{复} = P_{正}(P_{正} < P_{反}) \tag{3-11}$$

$$P_{复} = P_{反}(P_{反} < P_{正}) \tag{3-12}$$

式中　$P_{正}$——坯料尺寸相同，变形程度相等的单向反挤压所需的压力（N）；

$P_{反}$——坯料尺寸相同，变形程度相等的单向正挤压所需的压力（N）。

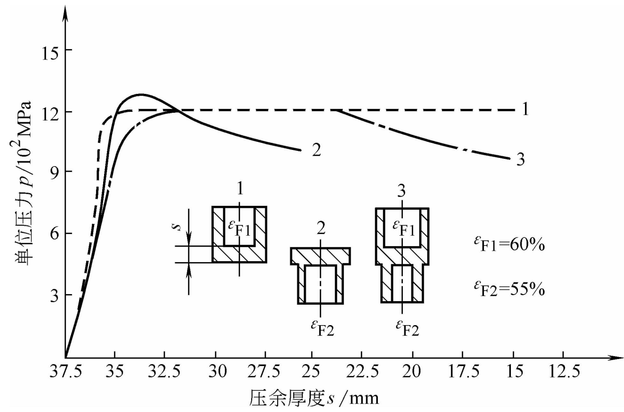


图3-22　外部带有台阶的杯-杯件复合挤压压力试验曲线

1—反挤压　2—正挤压　3—复合挤压

当复合挤压限定某一方向的尺寸时，即某一端在挤压行将结束时需要进行封闭挤压的情况，其压力为

$$P_{复} = P_{正}(\text{反挤压方向限定尺寸}) \tag{3-13}$$

$$P_{复} = P_{反}(\text{正挤压方向限定尺寸}) \tag{3-14}$$

第 4 章　冷挤压工艺制订

4.1　冷挤压工艺的设计内容及方法

冷挤压工艺设计是在确定挤压件形状、尺寸、精度和材料之后，着手设计模具之前的一个阶段。在此阶段要制订工件的冷挤压加工工艺和有关的工艺顺序和数量，并研究如何具体实现符合生产要求的零件质量控制、经济性等有关问题。

4.1.1　工艺设计前的准备工作

1. 查阅有关工艺设计资料

1）零件图和样品。

2）产品装配图及有关技术资料。

3）生产计划纲领（批量、年产量、总产量）。

4）有关设备型号、规格和技术参数方面资料。

5）有关挤压材料的尺寸、精度、性能和质量方面资料。

6）类似零件的成形试验数据及工艺设计参考资料。

2. 产品图研究

1）产品结构和作用。

2）产品性能和使用要求。

3）产品精度。

4）产品的质量要求及其控制。

5）产品设计基准。

6）冷挤压工艺性分析。

7）冷挤压后的加工问题。

3. 成形性研究

1）哪些部位能够挤压成形。

2）哪些部位不能够挤压成形，应在挤压之后进行切削加工。

3）难成形部位的工艺分析。

4）冷挤压工艺基准。

5）加工部位和余量的确定。

6）成形方式选择。

7）成形工序的分析。

8）重点工序的设计要点。

9）关键部位的质量控制方法。

4. 了解生产现状和技术条件

1）冷挤压设备及其有关参数。

2）模具加工的设备、能力、手段和技术水平。

3）工人操作技能。

4）设计人员的技术水平。

5）生产周围环境。

4.1.2　工艺设计的主要内容和方法

冷挤压工艺设计工作包括以下方面：①挤压件设计；②工艺计算；③成形工序设计；④成形工艺方案制订。工艺设计的基本程序如图 4-1 所示。

工艺设计时，从研究产品图进行工艺分析开始。首先根据变形前后材料体积不变定律及所设计的挤压件图形，计算出毛坯体积，并由挤压件尺寸或中间工序尺寸，按照体积公式确定毛坯尺寸，再按变形程度、挤压力大小和形状复杂程度，确定工序数目；然后进行工序设计，决定中间成形工序的预备形状和尺寸，并选定成形方法，安排加工顺序；最后决定冷挤压成形工艺方案，即选定材料和设备，编制工艺流程和构思模具结构，同时进行全面工艺评价和核算技术、经济指标。工艺计算步骤列于表 4-1。表中所列项目内容不能单独分开研究，需反复交叉进行。在设计模具过程中，还可能反过来对初始的工艺方案进行修正；在试验过程中进一步补充完善，并就实际生产条件，重新评价工艺设计。

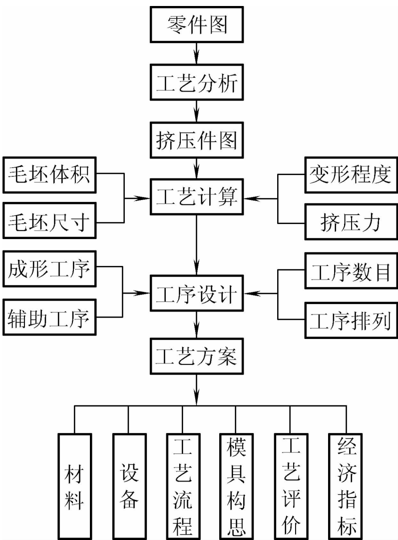


图 4-1　工艺设计的基本程序

表 4-1　工艺计算步骤

序　　号	项　　目	计 算 公 式	说　　明
1	计算毛坯体积	$V_{毛}=V_{件}$	根据挤压件图，按照毛坯体积 $V_{毛}$ 等于挤压件体积 $V_{件}$ 的不变定律进行计算
2	确定毛坯尺寸	$D_0=\sqrt{\dfrac{4V_{毛}}{\pi H_0}}$ $H_0=\dfrac{4V_{毛}}{\pi D_0^2}$	首先假定一种棒料直径，反复计算后应满足以下条件 1）$H_0/D_0 \geqslant 0.8$（冷剪下料） 2）$\dfrac{H_0-H_1}{H_0}\times 100\% < \varepsilon_{h许}$ D_0—毛坯直径 H_0—毛坯原始高度 H_1—冷镦后毛坯高度 $\varepsilon_{h许}$—许可镦粗率

（续）

序号	项目		计算公式	说明
3	计算总变形程度		$\varepsilon_F = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$	根据挤压件图进行计算 A_0—变形前毛坯的横截面积 A_1—变形后毛坯的横截面积
4	额定挤压次数	一道工序	$\varepsilon_{A1} = \varepsilon_A < \varepsilon_{A许}$	同时还应考虑：①挤压件尺寸因素；②挤压件形状复杂程度；③设备状况 ε_A—断面缩减率 $\varepsilon_{A许}$—许用的断面缩减率 ε_{A1}—第一道工序的断面缩减率 ε_{An}、ε_{An-1}—第 n、$n-1$ 道工序的断面缩减率
		多道工序	$\varepsilon_A > \varepsilon_{A许}$ $\varepsilon_{An} < \varepsilon_{An-1} < \varepsilon_{A许}$	
5	工序设计	下料	$H_0/D_0 \geqslant 0.8$	剪切下料
			$D_0/H_0 \geqslant 3$	冲裁下料
		冷镦	$\varepsilon_h = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\%$	$\varepsilon_h \leqslant \varepsilon_{h许}$ ε_h—镦粗时断面缩减率 $\varepsilon_{h许}$—镦粗时许用的断面缩减率
		校形	$\varepsilon_A \leqslant 30\% \sim 50\%$	
		中间成形工序	$\varepsilon_{A中} = (70\% \sim 90\%)\varepsilon_A$ $V_中 = V_毛 = V_件$ $H_1 < H_0$ $r_1 \leqslant R_0$	1）最大变形量的挤压加工安排在中间成形工序 2）按体积不变定律，决定预备形状的横断面积及其尺寸 3）中间工序的挤出尺寸 H_1，小于挤压件上相应部位尺寸 H_0 4）各工序间的圆角半径基本一致
		最终成形工序	$\varepsilon_{A终} = \varepsilon_A$	一道工序挤压成形
			$\varepsilon_{A终} \ll \varepsilon_A$	多道工序挤压成形
		辅助工序	硬度≥130HBW（低碳钢）	1）安排退火工序 2）原则上，每道挤压工序之前，毛坯或半成品均应退火并经润滑处理
6	工艺评价与估算		材料利用率： $\eta = (V_成/V_件) \times 100\%$ 设备负荷系数： $\frac{计算台数}{采用台数} \times 100\%$ 单件成本： $C = \frac{Z}{100}\Sigma W + M + \frac{\Sigma D}{N}$	Z—杂费的百分数 ΣW—工资总和 M—材料费用 ΣD—模具总费用 N—年产量

4.1.3　成形方法的评价和估算

在冷挤压工艺方案设计中，需要作出如下的评价和估算。

1. 工艺性评价

1）挤压件形状复杂程度。

2）挤压件成形难易程度。

3）挤压件变形程度。

4）挤压件的尺寸范围。

5）挤压件的精度等级。

6）挤压件表面粗糙度。

7）挤压件性能指标。

8）挤压件质量标准。

9）挤压材料的工艺性能。

2. 估算项目

1）总变形程度。

2）总工序数目。

3）总工装套数。

4）单件工时。

5）材料利用率及单价。

6）设备台数及负荷能力。

7）模具成本。

8）初步经济预算。

9）效果分析及评价。

根据上面这些评价和估算，便可确定一种经济合理的最佳工艺方案。

4.2　冷挤压工序的设计原则

冷挤压生产的零件，从毛坯变为成品需要一系列工序。挤压工艺设计的实质在于确定一系列必要的工序，使毛坯逐步接近挤压件形状，以最少的工序、最短的流程，经济合理地挤压出符合质量要求的挤压件。典型的挤压工艺过程由许多工序组合而成，其中包括下料、镦粗、校形（毛坯准备工序）、预成形工序和最终成形工序（正挤压、反挤压、复合挤压或镦挤压相结合的组合工艺）。除此以外，还有中间的辅助工序（脱脂、酸洗、退火、润滑）和最后的机械加工工序。无论是制坯工序和中间工序，还是成形工序，都是冷挤压过程中的重要组成部分。

1. 变形工序数目的确定

对于给定的材料来说，冷挤压的变形工序数目直接取决于形状的复杂程度和变形程度的大小。一般来说，挤压件形状越复杂，成形难度越大，所需的工序数目越多，工艺流程越长。无论采用哪种成形方法，如果变形程度太大，就会使模具过载破坏，或零件破裂。因此，不能在一道工序里使变形程度过大，而应把过大的变形程度分别在几道工序中去完成。此外，冷挤压的变形工序数目，还与挤压件尺寸、材料性能、润滑条件、

设备能力和生产批量及模具寿命有关。冷挤压变形工序数目的确定见表4-2。

表 4-2　冷挤压变形工序数目的确定

影响因素	工序数		
	一道工序	两道工序	两道以上工序
变形程度	$\varepsilon_{总} < \varepsilon_{许}$	$\varepsilon_{总} > \varepsilon_{许}$	
几何形状	简单杆形件、简单杯形件	形状较为复杂的锥形件、阶梯形状件、带凸缘的零件	形状极其复杂或为了成形某一特殊部位
挤压件尺寸	在表3-11所列尺寸范围;毛坯尺寸与挤压件尺寸相接近	超出表3-11所列尺寸范围;毛坯尺寸与挤压件尺寸相差较多	细长件、孔径过小零件、深孔零件、圆角半径极小零件
材料性能	塑性极好,延展性高,硬度低,变形抗力小	塑性较好的铝合金和低碳钢	塑性较差,变形抗力高
单位挤压力	单位挤压力较小	为了降低单位挤压力,可以将挤压分为几道工序进行	
设备能力	设备吨位和能量足够	如果设备吨位或能量不足,就要考虑增加工序,将挤压力过大的加工分成几道进行,以适应设备的负载能力	
生产批量	小批量	大批量	
模具寿命	能够确保模具寿命的前提下,尽量采用一道工序	大批量生产时,为了延长模具使用寿命,应考虑适当增加挤压工序数目	
润滑条件	能够始终保持润滑的连续性	润滑条件受到限制时,为了保持润滑连续性不致破坏,应考虑增加挤压工序,并在工序间进行润滑	

注：$\varepsilon_{总}$—总的断面缩减率；$\varepsilon_{许}$—许用的断面缩减率。

2. 变形工序的选用及其排列次序

变形工序的选用主要考虑挤压成形的工艺需要。确定变形工序时，重点考虑毛坯尺寸、制取方法、变形方式、材料体积转移和变形程度分配等方面问题。如切削毛坯，应该考虑去除边棱毛刺或倒角工序；高碳钢和合金钢切断时，或一般钢材但特殊要求切断面偏歪小时，要将钢材加热后切断，以获得良好的切断面。一般情况下，剪切毛坯不经校形工序，直接进行挤压的情况不多。当毛坯形状与挤压件外形不相符合，或选取的棒料直径与挤压工艺要求的尺寸不一致时，为了增大毛坯的横截面积，普遍采用镦粗工序，以使毛坯形状尽可能接近下一道的模腔形状。除形状简单的正挤压零件，可以直接利用剪切或冷镦毛坯外，一般情况下，经冷镦的毛坯还要在封闭的模腔中校整其外形，以使其轮廓形状清晰，尺寸精确，更加符合挤压模具型腔的几何形状，并与下道工序的模具严密配合，以利于下一道挤压操作。这种校形工序，对于壁厚精度要求较高的筒形零件反挤压工艺尤其重要。

总之，只有形状简单的挤压件，才能一道工序挤压成形，而绝大多数挤压件，往往需要多道成形工序。在多道工序成形过程中，为了减少最终成形工序的挤压力和模具载荷，使毛坯体积从一个有利的位置转移到另一位置，以保证金属的预先分配，通常是先获得一个中间形状，即还要增加一道挤压的预成形工序。在这种情况下，成形工序的排列次序是：下料→冷镦→校形→预成形→挤压成形。有时，为了成形某一特殊的部位，

如锥形和凸缘形状，往往在挤压成形之后，还需补以冷镦或镦挤相结合的成形工序。图 4-2 列出了常见工序的组合及其排列次序。

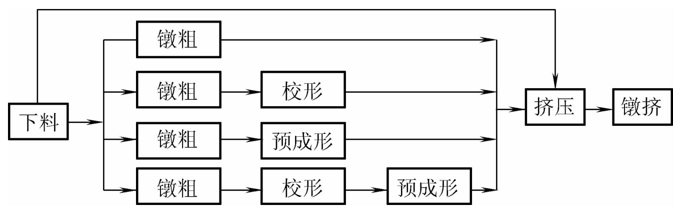


图 4-2　常见工序的组合及其排列次序

确定变形工序时，除正确选用、合理安排工序外，还必须注意各道工序之间的相互关联和协调，有机地配合并构成一个最佳的工艺路线。

4.3　冷挤压工艺方案

冷挤压工艺方案是工艺准备和工艺设计的总纲。其基本内容是以挤压件的工艺路线为依据，进一步明确加工方法、模具结构、生产方式以及各工序的相互关系，也就是主要分析及解决挤压件加工过程中的重大技术关键及核心问题。例如，用什么形状及尺寸的毛坯、成形方法和工艺顺序，采用哪些工序和工艺装置，选用哪些设备来满足挤压件的技术性能和使用要求，经济合理地把挤压件制造出来。重点审查工序的选择和排列次序是否合理，各工序的加工范围是否适当，以及各工序之间的衔接和配合是否符合实际生产情况，并进一步协调、理顺挤压件图、各工序和工艺路线，以及工艺、工装和设备之间的关系，使所选用的工艺方案成为一个完整的质量保证和控制系统。

制订冷挤压工艺方案时，应该首先考虑两个重要的基本原则。

（1）确保模具的使用寿命　确定适宜的预备形状，经济合理的加工方法、工序数目与加工程序，确保模具的使用寿命和满足生产要求。

（2）确保产品质量要求　确定最理想的变形条件，保证在此条件下拉应力最小或完全没有，以获得满足力学性能要求、高质量、高精度、无疵病的挤压件。

设计时主要考虑零件的几何形状、材料性能、变形程度的大小，以及具体的质量要求、生产批量与现有的设备状况等。对于任何一种挤压件，从不同的角度和设计观点出发，应该拟定两个或更多的工艺方案，然后将这些方案进行技术经济分析，择优选取其中一个最优的方案。最佳方案的主要标志是采用尽可能少的成形工序，以最低的材料消耗、最高的模具寿命和生产率，挤压出满足产品性能和使用要求，符合质量标准的挤压件，使其达到最大的技术经济效果。

各种类型零件的冷挤压基本工艺方案如图 4-3 所示。由该图看出，冷挤压工艺过程大体包括：①毛坯准备（下料及预成形）；②辅助处理（退火和润滑）；③冷挤压成形（中间预成形和最终挤压成形）；④挤压后的切削加工。

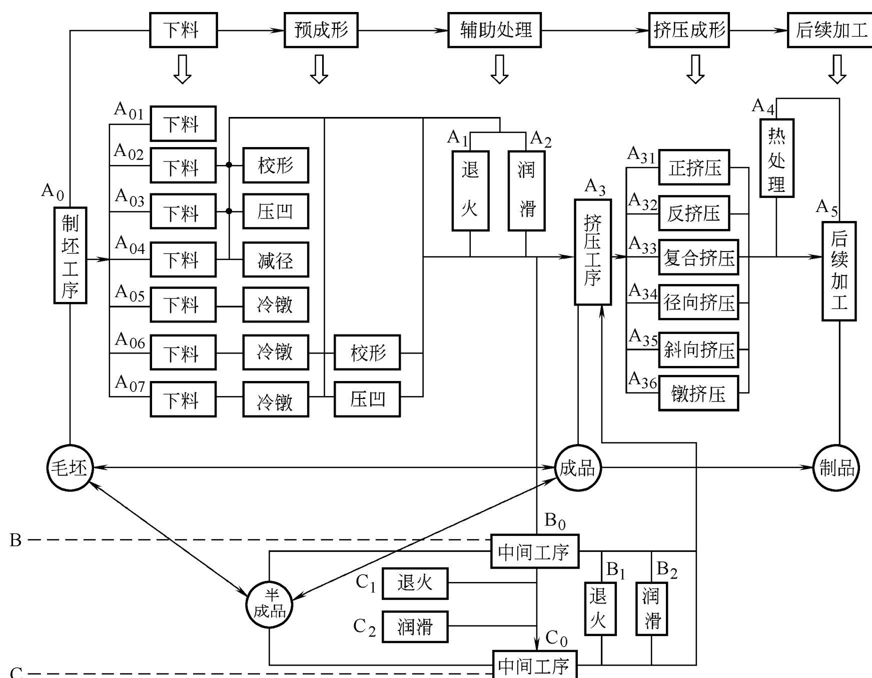


图 4-3　冷挤压基本工艺方案

形状简单的零件可以一次挤压成形（方案 A），如图中 $A_0 \to A_1 \to A_2 \to A_3 \to A_4 \to A_5$ 所示。形状复杂的零件，像锥形、凸缘、阶梯形零件，一般需采用两道成形工序 B，即除挤压工序外，还要辅加一道中间预成形工序 B_0，如图中 $A_0 \to A_1 \to A_2 \to B_0 \to B_1 \to B_2 \to A_3 \to A_4 \to A_5$ 所示。至于那些极其复杂的零件，或为了成形某一特殊部位，成形工序的数目还要增加，如图 4-3 所示，即 $A_0 \to A_1 \to A_2 \to B_0 \to C_1 \to C_2 \to C_0 \to B_1 \to B_2 \to A_3 \to A_4 \to A_5$。因此，大多数挤压件在最终形状的成形之前都要经过制坯工序和中间成形工序（一道或两道）。图 4-3 列举的七种制坯方案（$A_{01} \sim A_{07}$），是根据毛坯尺寸、下料方法和挤压件工艺要求确定，按照最简单至最复杂程度顺序排列的。中间成形工序是从毛坯向挤压件过渡的中间准备工序，给出挤压件大体形状和尺寸。从毛坯到成品的全部加工工序中，制坯工序、中间工序和挤压工序是最重要的三道工序。因此，研究这三道工序中毛坯、半成品和成品之间的受力和变形关系，以及中间工序预成形的准备形状和尺寸对这些关系的影响，是挤压工艺方案设计中的关键问题。

工艺设计的合理与否对挤压件的质量、模具寿命和生产率影响很大。因此，合理的工艺设计应考虑如下几点。

1）变形时应使金属处于压缩应力状态，避免拉应力和切应力使金属破裂。

2）截面过渡不宜过于剧烈，避免尖角过渡，使金属流动顺畅。

3）挤压件尽可能保证对称，反挤压或复合挤压时连皮厚度不应小于壁厚。

4）多工位挤压时变形量合理分配，考虑前后工序的定位、进出模方便。

典型挤压件工艺方案对比见表 4-3。

表 4-3　挤压件工艺方案对比

序号	不合理工艺	合 理 工 艺
1	d_0　d_0 d_1　d_0 d_1 d_2 底部不平	d_0　d_0 d_1 d_2　d_0 d_1 d_2
2	d_0　d_0 90° 60° d_1 裂纹	d_0　60° d_0 d_1 60° d_2　d_0 d_1 d_2
3	d_0 d_1　d_0 d_1 塌陷	d_0 d_1　30° d_0 d_1 d_2　d_0 d_1 d_2
4	d_0 d_1　d_0 d_1 h D_1 D_2 剥落	d_0 d_1　d_0 d_1 D_1

（续）

序号	不合理工艺	合 理 工 艺
5	d_0 d_0 s s 翘底 收缩	d_0 d_0 s
6	d_0 d_1 d_0 缩孔	d_0 d_1 d_0 d_1 d_2
7	d_0 d_0 s s 裂纹 收缩	d_0 d_0 s R s
8	d_0 d_0 s s 裂纹	d_0 d_0 s s α

（续）

序号	不合理工艺	合 理 工 艺
9	d d_0 充填不满 d_1 d_0 D_1	d d_0 D_1 d d_0 D_1 d_1 d_0
10	d_0 D_1 纵向飞刺 d_0 填充不满 d	d_0 d_0 d_1 D_1 d_0 d
11	d_0 d_0 d 下道工序定位困难 d d_0	d_0 d d_0 d d_0

4.4　冷挤压工艺计算实例

1. 汽车活塞销

汽车活塞销如图 4-4 所示，材料为 20 钢或 20Cr 钢。这里主要讨论活塞销冷挤压的工艺方案。

（1）冷挤压工艺方案的拟订　首先要把活塞销零件图变成适合于冷挤压工艺的冷挤压件图。活塞销内孔（ϕ14.6mm）是自由公差，所以其精度要求可以由冷挤压工艺来满足，因此可不必留出切削余量。而外圆表面粗糙度 Ra 要求为 0.1μm，尺寸精度要求是 0.01mm，冷挤压很难满足，所以外圆留出磨削余量 0.5mm（双边），在冷挤压工序以后用磨削方法将外圆磨出。

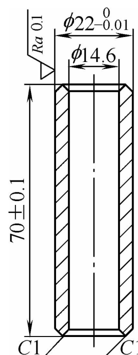


图 4-4　汽车活塞销

冷挤压中连皮的位置有两种方案，即将连皮放置在挤压件的底部的第一方案（见图 4-5）和将连皮位置放置在挤压件的中部的第二方案（见图 4-6）。

如果选用图 4-5 的方案，零件反挤压的断面缩减率为

$$\varepsilon_A = \frac{(14.6)^2}{(22.5)^2} \times 100\% = 42.1\%$$

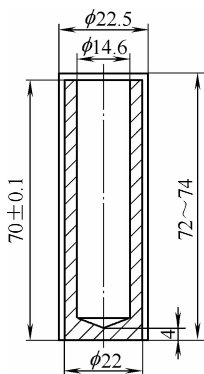


图 4-5　第一方案连皮在底部（不合理）

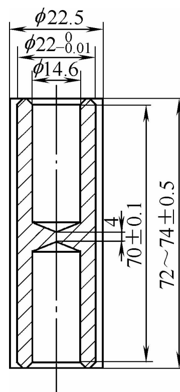


图 4-6　第二方案连皮在中部（合理）

这样的变形程度无论对 20 钢或 20Cr 钢都是可行的。但这仅是从变形程度来看，如果从反挤压凸模的稳定性来考虑就不合理。因为凸模太细长，就会产生纵向弯断。为了防止细长凸模的折断，一般规定在反挤压钢零件时，凸模工作部分的长度和直径的比值（即所谓长径比）不应超过 3.0（见图 4-7），即

$$l_{max}/d \leqslant 3.0$$

在采用第一方案时，凸模的最小长度应为 70mm，故凸模的长径比为

$$l/d = 70/14.6 \approx 4.8 > 3.0$$

这样的凸模长径比数值太大，在冷挤压过程中凸模容易引起弯折。因此，如果采用第一方案，虽然变形程度没有超出许可范围，但真正要实现冷挤压是很困难的。

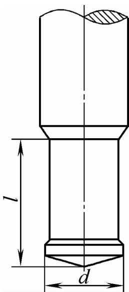


图 4-7　反挤压凸模的长径比

如果采用图 4-6 所示的第二方案，将连皮放在中间，这样就比较巧妙。但这样就需要采用上、下两个凸模，每个凸模长度大大减小，从而保证了凸模稳定性，故生产中采用此方案。冷挤压后将连皮去掉。

（2）连皮的位置　采用图 4-6 所示的方案挤压，希望连皮的位置保持在中间。但在实际上要保持在中间并不容易，因为一般的冷挤压机都是单动作立式结构。故在挤压时金属总是向上流动得快，向下流动得慢。这样就使得 $l_1 > l_2$（见图 4-8）。上凸模向下运动推动毛坯，使金属向上、下凸模与凹模筒壁之间的间隙流动，而下凸模与凹模筒是不动的，由于相对运动使各部分之间产生的摩擦导致的效果不同，就使金属向上和向下流动速度产生了差异，故连皮一般不会保持在中间位置。为了使连皮位置能保持在中间，可以应用改变凸模前端的几何形状以改善上、下流动的不均匀性，如图 4-8 所示。经试验后选取上凸模锥角 α_1 为 160°，下凸模锥角 α_2 为 126°。这样就使得金属向下流动比向上流动容易些，从而抵消了前述流动的差异，使连皮位于中间位置。

2. 壳体

壳体冷挤压件如图 4-9 所示。最初设计的工艺流程如下：下料→镦粗→以反挤压为主的复合挤压→正挤压→整形，如图 4-10 所示。

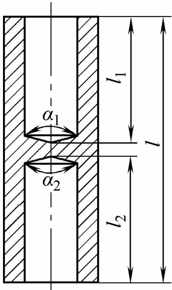


图 4-8　活塞销上下两孔锥角不同

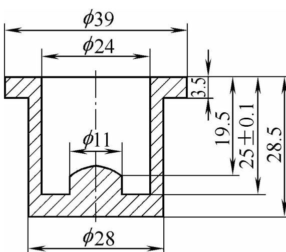


图 4-9　壳体冷挤压件（材料 DT5）

在试制过程中曾出现以下两个问题：

1）在以反挤压为主的复合挤压（见图 4-10c）时，出现了内孔凹槽现象（见图 4-11）。出现这种现象的主要原因是由于毛坯锥角与凹模锥角不一致，产生了环状锥形间隙 c（见图 4-12）。挤压时又填满间隙带，因而在内孔留下了环槽。

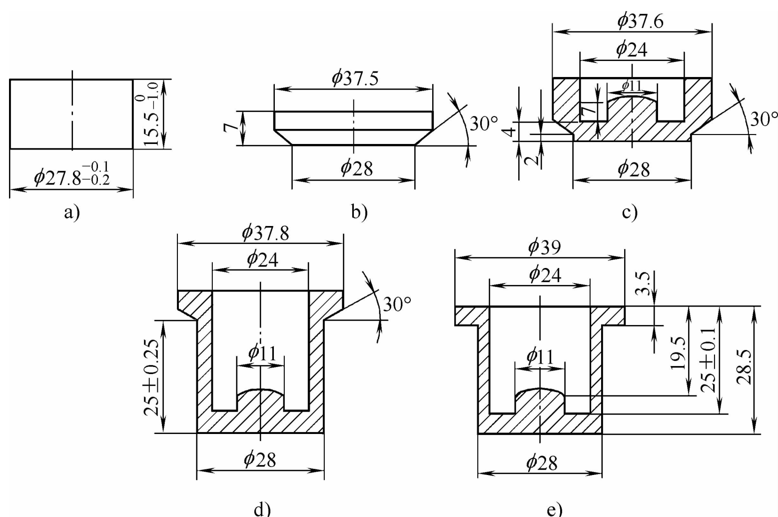


图 4-10　最初设计的工艺流程

a）下料　b）镦粗　c）复合挤压　d）正挤压　e）整形

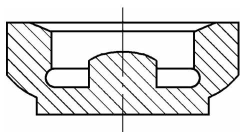


图 4-11　内孔凹槽

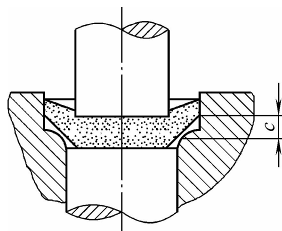


图 4-12　环形间隙带

2）正挤压（见图 4-10d）后底部呈弧形（见图 4-13），这是由于正挤压时底部参与塑性变形造成的。

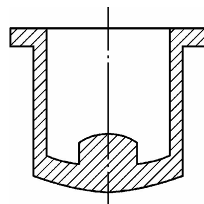


图 4-13　底部弧形

为了纠正上述缺陷，将工艺流程修改成如图 4-14 所示，即：下料→顶成形→以反挤压为主的复合挤压→正挤压→整形。

预成形（见图 4-14b）时，使孔口呈 70°，其目的是使外形与凹模尺寸更易一致。在以反挤压为主的复合挤压（见图 4-14c）时，由于采用了预成形工序，避免了挤压后的内孔凹槽现象。

在图 4-14d 所示的正挤压时，底部只作刚性平移，不再参与塑性变形，因而挤压后挤压件底部是平的。这样，壳体件挤压工艺获得了成功。

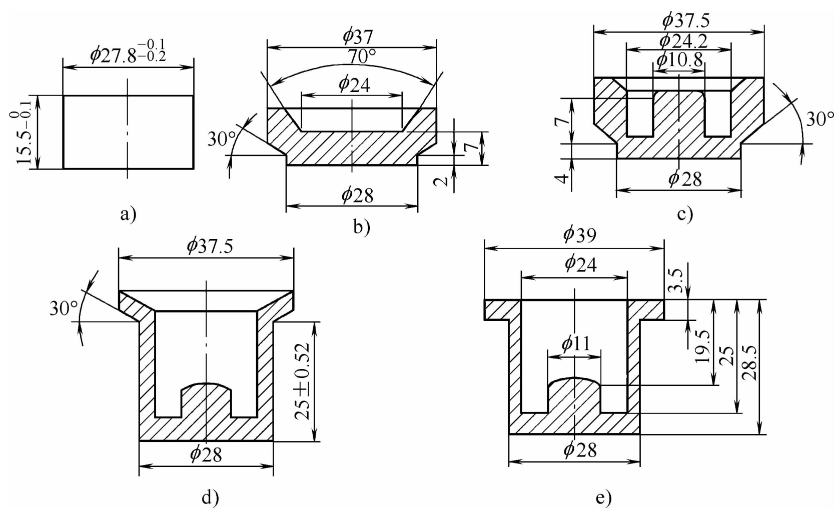


图 4-14　修改后的工艺流程

a）下料　b）预成形　c）复合挤压　d）正挤压　e）整形

3. 弹体

弹体挤压件如图 4-15 所示，材料为 S15A（低硅铝镇静钢，碳含量与 15 钢相当）。这个零件的特点是壁厚和直径沿轴向不一致。主要工艺流程图如图 4-16 所示。

全部工艺流程为：蓝脆下料→毛坯退火→磷化处理→皂化处理→整形→退火→磷化处理→皂化处理→复合挤压→磷化处理→皂化处理→变薄拉深→齐口→内裂检查→收口→检验。

现分别说明如下：

（1）整形　下料后，因毛坯不够平整，为了提高凸模寿命，保证产品质量，首先进行整形。该工序所得的半成品外径比复合挤压凹模的圆柱部分孔径小 0.1mm。

（2）复合挤压　复合挤压时，如凹模上口部是圆筒形，挤压过程中当金属流向口部时断面变小，阻力很小，会使挤压力迅速上升，可能造成模具断裂。因此，将凹模上口部改为有 3°8′的锥度，这样在挤压过程中，金属流向口部时，由于外圆没有阻力，便可以大大降低挤压力，提高模具寿命。反挤压深度不大于反挤压凸模工作直径的 2.5 倍（为了保持凸模的稳定性）。必须选择适当变

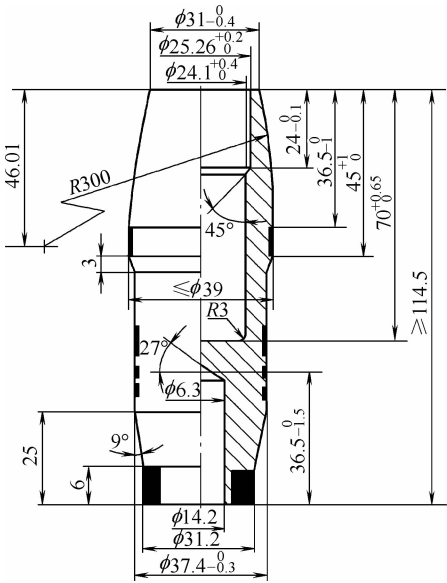


图 4-15　弹体挤压件

注：涂黑部分为后续切削部分材料。

形程度，以便在变薄拉深后能满足产品力学性能要求。

（3）变薄拉深　该工序主要对上部内孔孔径成形。目的是使弹体毛坯得到最终的壁厚与长度，同时使零件冷作后具有要求的产品力学性能。

（4）收口　本道工序的变形量极小，基本上是纯收口变形。由图 4-16f 可见，在收口时可能镦粗部分属于设计工艺时决定最后机械加工部分。收口工序系弹体最后成形，决定零件的尺寸及其公差等级，因此，模具采用上、下凹模模口直接导向。

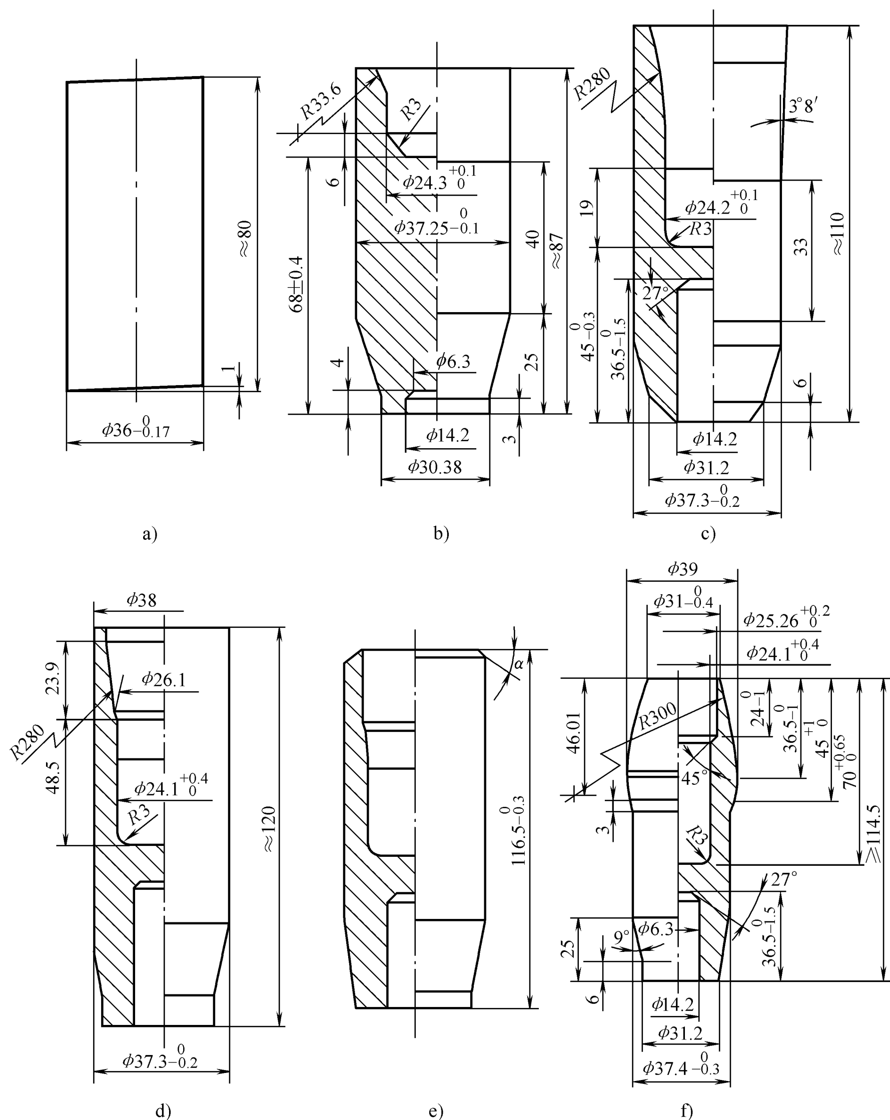


图 4-16　弹体变形工序流程图

a）下料　b）整形　c）复合挤压　d）变薄拉深　e）齐口　f）收口

4. 带隔层的方形罩

带隔层的方形罩（材料为纯铝）如图 4-17 所示。其壁厚为 0.6mm，底厚为 0.6 ~ 1.0mm。该零件底部六个方格的中心各有高 1.1mm、直径 ϕ6.6mm 的凸起部分，这样的零件用其他加工方法比较困难。

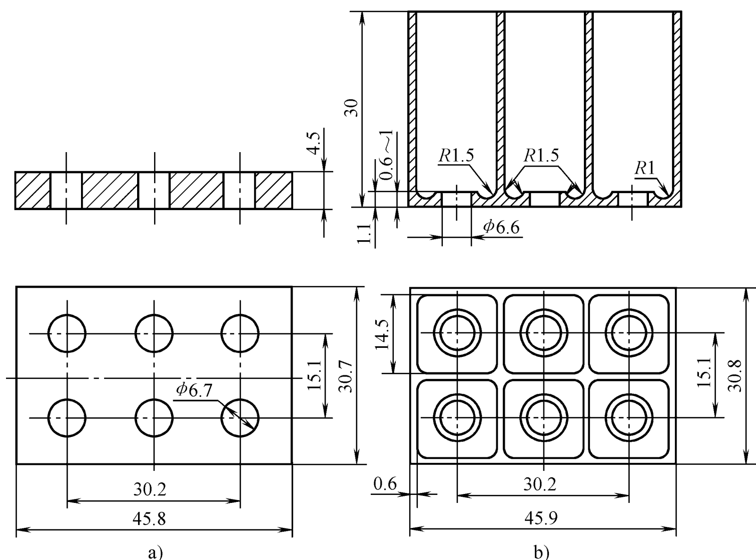


图 4-17　带隔层的方形罩

a）毛坯　b）挤压件

（1）工艺分析　这个有隔层的底部有六个带孔凸起的方形杯形件。其壁厚为 0.6mm，底厚为 0.6 ~1.0mm，可以采用反挤压方法加工。其反挤压变形程度为

$$\varepsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

$$= \frac{31 \times 46 - [(31 \times 46) - 6 \times 14.5^2]}{31 \times 46} \times 100\%$$

$$= 86\%$$

式中　A_0、A_1——毛坯、零件（成形部分）的横截面积。

对纯铝来说，变形程度 86% 的反挤压是不成问题的。因此，底部六个带孔的凸起部分完全可以一次挤压出来。

（2）模具工作部分的结构设计　图 4-17 所示零件带有隔层，因此，在凸模上应当有相应的凹槽，以便挤压时金属可向凸模的凹槽内流动，构成零件的隔层。开始试验时曾把凸模作成整体式，铣出凹槽。在反挤压时，六个“脚”很易折断。后来改成如图 4-18 所示的分体式镶拼凸模形式，凸模由六块组合镶拼而成。为使凸模牢固地固定在上模板上，凸模的上端部带有 2° ~ 3°的斜度。采用这种带斜度的固定凸模方法，可以保证凸模在工作时的稳定性。此外，凸模装配在模板上时，要有足够的过盈量，为此在凸

模未压入前，要求凸模比凸模固定板高出 5 ~ 6mm；为了防止凸模压入后固定板产生变形，固定板的厚度不宜小于 25mm。固定板的外形尺寸也应适当地放大，使凸模在工作时更为稳定。

在设计凸模时，应注意中间隔槽不能设计得太深，一般凸模上隔槽的深度为零件隔层高度再增加 2 ~ 3mm，如图 4-18 所示；否则槽太深，会影响凸模的稳定性，使反挤出的零件在隔层上发生破裂，像在隔层上开窗口一样。

（3）带隔层方形零件反挤压时的金属流动　当挤压这类零件时，外层金属流动较快，而中间隔层部分金属流动较慢，高度也显得低些。挤压一个两格的带隔层方形零件时，中间隔层流动较慢的情况如图 4-19 所示。

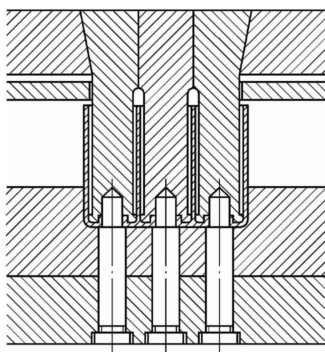


图 4-18　分体式镶拼凸模

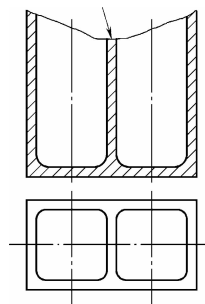


图 4-19　中间隔层金属流动较慢情况

由于金属流动在外层和隔层时的速度不同，往往由于附加拉应力而使壁与壁部分之间裂开。流速不同的原因是，由于凹模底部四周外框处有圆角过渡，而凸模四周同样有圆角，挤压时金属向上流动较易；隔层部位只有凸模有圆角过渡，凹模是平底，使挤压时金属向上流动阻力较大。此外，零件隔层的金属，来自两个相反的方向，在流动过程中互相冲击，这种冲击阻力也将影响隔层金属顺利向上流动。

为了解决外框与隔层金属流速不一致的问题，在允许更改零件设计的前提下可采用如下措施。

1）在凸模工作端面上，近隔层的两端给予一定的斜度，如图 4-20 所示。该凸模端部采用 3°的斜度。

2）使零件隔层的壁厚比外框的壁厚稍厚一些。该零件使壁厚大约相差 0.05 ~ 0.1mm。

3）有意将凸模工作带设计成不等长度。该零件隔层处的凸模工作带长度为外框处凸模工作带的一半。

4）在隔层转角处，凸模工作部分的圆角半径适当放大。该零件在隔层处凸模工作部分圆角半径为 1.5mm，而外框处为 1.0mm。

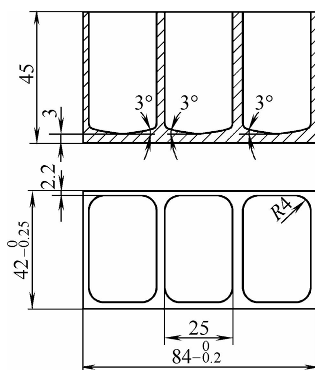


图 4-20　三个方格的薄壁零件

第 5 章　冷挤压模具设计

冷挤压模具设计对冷挤压成形技术来说是极其重要的，它是冷挤压工艺能否取得成功的关键。因此，针对挤压件结构和冷挤压工艺的特点，考虑生产性质和模具，结合实际设备情况，正确设计和合理选择冷挤压模具材料及加工工艺，来提高模具的承载能力和使用寿命，是非常重要的。

5.1　冷挤压模具的分类、构造及设计方法

1. 冷挤压模具设计的基本要求

冷挤压时的单位挤压力很大，可达到材料抗拉强度的 4 ~ 6 倍或更高，接近甚至超过现有模具材料的抗拉强度，远远超出一般金属塑性加工时的单位压力。冷挤压时，单位挤压力的大小主要受模具强度的限制，现在所用的冷挤压模具材料抗拉强度最高为 2500 ~ 3000MPa。超过此值，模具将要损坏，或者寿命很低。因此，当计算的单位挤压力超过模具材料的抗拉强度时，就应采取降低单位挤压力的措施，如增加挤压次数，减小每次的变形程度等。连续的挤压操作可使金属与模具剧烈摩擦，模具的温度可升至 200 ~ 300℃，甚至更高。由此可知，冷挤压模具的工作条件极其恶劣。因此，为了确保模具的正常工作和使用寿命，模具必须能够耐静态高压，耐冲击，经得住工件和模具表面之间的摩擦，同时要耐疲劳。作用在模具上的压力必须引导到压力机工作台面和压力机机架上。虽然金属在压缩下发生塑性变形，但是模具中的工作应力却是一个复杂的拉应力、压应力和切应力的联合应力。由于工作应力很高，模具承载时将会产生明显的弹性变形。因此，模具设计者必须找出一种能承受和分配这种应力和应变的途径。

考虑到这些因素的影响，对于冷挤压模具设计的基本要求如下：

1）保证模具在恶劣的工作条件下工作，选用具有足够的强度和刚度、高的耐磨性的材料，以及正确的加工方法和热处理工艺规范。特别是模具的工作部分（凸模、凹模等），应设计合理的几何形状，采用强韧性很好的材料。

2）模具工作部分能够方便而可靠地固定在模架上，对中性能要好。

3）对尺寸精度要求高的挤压件，模具应有良好而可靠的稳定性和导向装置。

4）模具具有方便而灵活的卸料和顶出装置，使零件易于取出。

5）模具的易损部分拆换方便，在生产批量较大时要有互换性和通用性。

6）便于毛坯的放置和定位，在大批量生产中要有利于实现机械化和自动化，并配有自动送料装置。

7）模架能牢固地安装在压力机上，具有必要的防护措施，保证操作工人的人身安全。

8）模具制造要简单，成本低廉。

2. 冷挤压模具的分类

从模具的外形来看，冷挤压模具与冲压模具颇为相似。纯粹的冷挤压模具可以归纳为以下三类：正挤模、反挤模、复合挤压模。若将挤压生产中所有成形工序的模具都包括起来，按照不同的特征可分为许多类型，如表 5-1 所示。

表 5-1　冷挤压模具的分类

分类方法	模具名称
按工艺性质	正挤模、反挤模、复合挤压模、冷镦模、校形模、冲挤模
按工序组合	单一工序简单模、双工序复式挤压模
按导向方式	无导向敞开模、导柱模、导套导向模、模口导向模
按生产适应性	通用模、专用模、小批量生产模具、大批量生产模具
按精密级别	粗级模具、一般精度模具、精密级模具
按模具材料	钢冷挤模、硬质合金镶块冷挤模
按自动化程度	手动模、半自动模、自动模

3. 冷挤压模具的构造

图 5-1 所示为一般冷挤压模具的基本构造。这是一种无导向装置的敞开式挤压模具。它的特点是结构简单，重量较轻，尺寸较小，制造容易。其中图 5-1a 是仿效冲压模具结构形式而设计的，其凸、凹模利用螺栓直接紧固在上模板和下模座上；图 5-1b 则是冷挤压模具的典型结构形式。

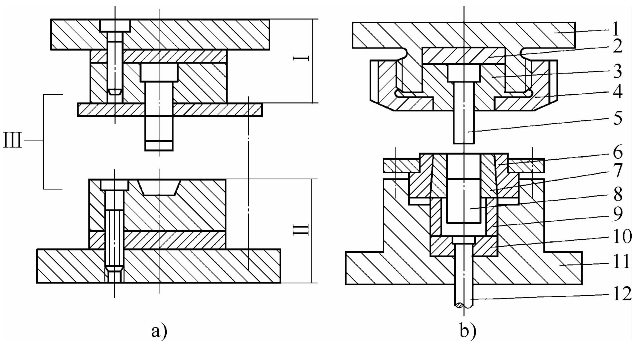


图 5-1　冷挤压模具的基本构造

a）仿效冲压模具的结构形式

Ⅰ—上模活动部分　Ⅱ—下模固定部分　Ⅲ—工作部分

b）典型冷挤压模具的结构形式

1—上模板　2—凸模垫块　3—固定套　4—特形螺母　5—凸模　6—压圈　7—凹模　8—顶料杆　9—支承圈　10—垫圈　11—模座　12—顶杆

图 5-1a 所示模具的上模活动部分Ⅰ和下模固定部分Ⅱ合在一起，或者中间再连以

导向装置，即为模架。在模架内部安装全部模具零件，便构成模具的总体结构。

图 5-1b 所示模具的上模部分主要由以下零件组成：上模板 1、凸模垫块 2、固定套 3、特形螺母 4 和凸模 5。凸模利用固定套和特形螺母紧固在上模板中，并用凸模垫块进行支承。下模部分由以下主要零件组成：压圈 6、凹模 7、顶料杆 8、支承圈 9、垫圈 10、模座 11 和顶杆 12。凹模放在支承圈和垫圈上，利用压圈紧固在模座之中。除此之外，模具零件还有卸料板、环形顶出套、导柱、导套、螺栓和定位销等。

组成模具的全部零件，根据其功用又可分为两大类，即工艺零件和辅助零件。工艺零件是指直接参与完成工艺过程并和毛坯直接发生接触的零件。它包括工作零件、定位零件、卸料零件。辅助零件不直接参与完成工艺过程，也不和毛坯直接发生作用，只对模具完成工艺过程起保证作用或对模具的功能起完善的作用。它包括导向、支承和紧固类零件。冷挤压模具零件的分类见表 5-2。

表 5-2　冷挤压模具零件的分类

类　　别		功　　能	构　　成
工艺零件	工作零件	直接使材料变形，对毛坯进行加工	凸模、凹模、卸料板、顶杆、顶出套
	定位零件	使毛坯得以在模具上正确定位	导料板、挡料销
	卸料零件	将抱在凸模上或滞留在凹模中的挤压件卸下或顶出	卸料板、顶杆、顶出套、环形卸料套
辅助零件	导向零件	保证模具上、下部分对正、吻合	导柱、导套
	支承零件	支承和固定模具零件	上模板、下模座、凸凹模固定板、模柄、垫块
	紧固零件	将模具工作零件与辅助零件紧固在一起	螺钉、螺栓、销钉

4. 冷挤压模具的设计方法及步骤

像许多类型的成形模具一样，金属冷挤压模具的设计过程，也是相当复杂的。如果要设计一种符合要求的冷挤压模具，必须考虑影响它的许多因素和互相依赖的许多参数。不了解它们的互相依赖关系，便不可能描述整个设计过程。该过程描述的基本要素是描述设计、制造和使用三大技术环节，如图 5-2 所示。该图表示出了模具设计系统中诸因素的相互关系。从模具构思开始到模具完成为止，模具系统的设计程序图如图 5-3 所示。

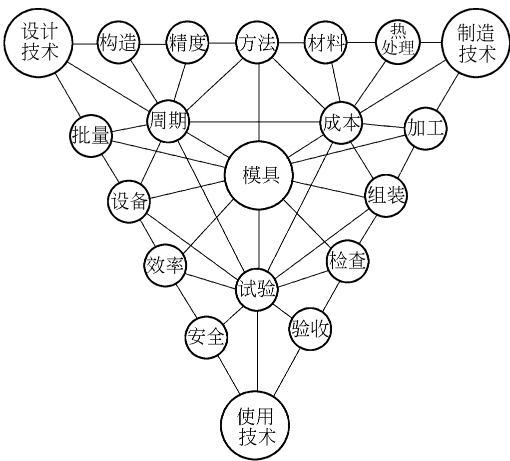


图 5-2　冷挤压模具技术关联系统图

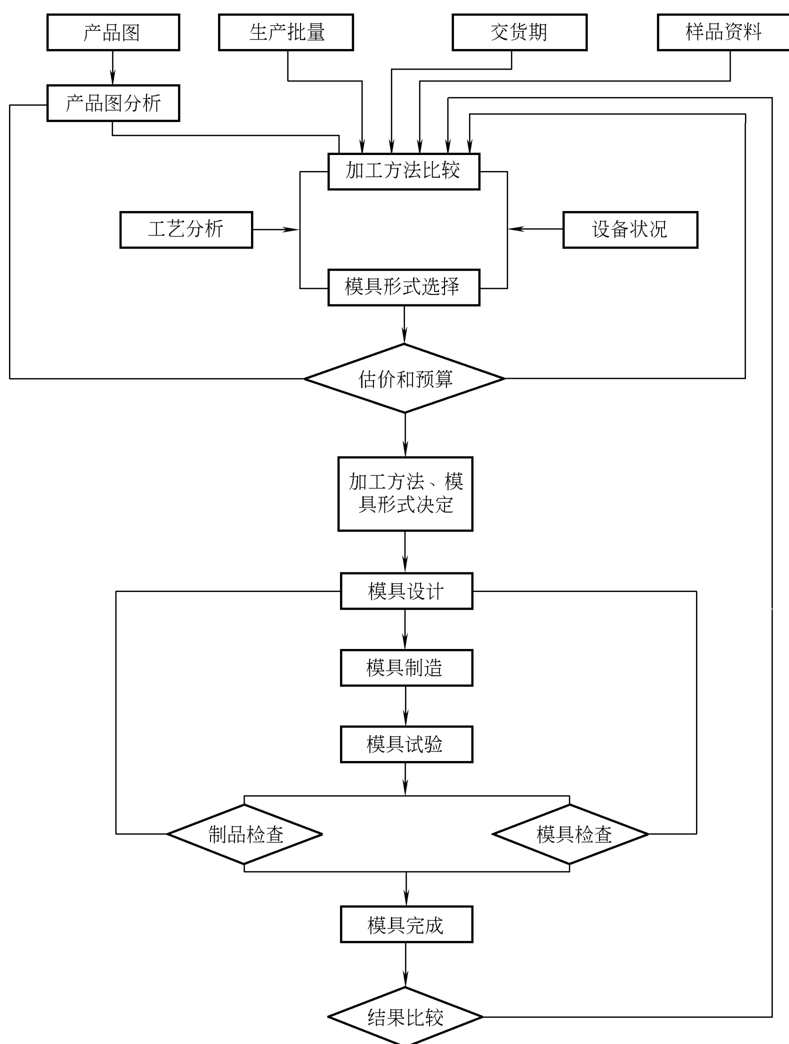


图 5-3　模具系统的设计程序图

5.2　冷挤压模具结构设计

冷挤压模具总体结构形式的确定，关系到设备选型，模具的制造、使用、寿命和价格，挤压件质量和成本，以及挤压生产工作的稳定性、安全性和可靠性，是模具设计的关键，是开始设计之前必须解决的首要问题。

模具的总体结构形式，必须经过对所使用的设备、产量、制件的形状、尺寸和精度以及加工方法、制造技术等进行综合判断之后，作出决定。

5.2.1　模具结构设计要求及内容

1. 模具结构设计的基本要求

（1）总体结构要均衡、协调

1）整个结构的厚度不要过薄。

2）整个结构的凸、凹处要少。

3）整个结构不要过于复杂。

4）外形轮廓尺寸不要相差过大。

（2）具有一定的强度及足够的刚性

1）结构的刚性好，可靠性高。

2）工作部件强度高，韧性好。

3）支承和连接部件具有足够的厚度和较大的接触面积。

4）安装部件牢固、可靠。

5）工作部件选择强度高、韧性好、耐磨性好的模具材料。

（3）结构上要适合受力的需要

1）为了提高模具的承载能力，冷挤压凹模均采用压套组合结构。

2）为了提高凸模的稳定性和抗弯曲性能，其长度应尽可能短。

3）凸模尾部端面、顶杆和凹模的下面，要垫入具有较大接触面积和足够厚度的垫块，以便分散集中载荷，并将模具负荷合理地引导、传递到压力机工作台面和机架上。

4）采用硬质合金模具时，垫板或模座厚度及导柱直径，要比钢模具的相应尺寸增大 1 倍。

5）为了减小应力集中，防止开裂，在主要工作零件上，尽可能不要制造固定零件的孔或其他孔。

6）为了减少摩擦力，模具工作部件的工作表面应精细抛光，并合理确定其有效接触和结合面积。

7）模座孔口部位，镶装经淬火的中间衬套。

8）必须有精确而可靠的导向装置。在刚度小的压力机上，应采用结实的四导柱结构或模口自身导向方式，以确保凸模和凹模的同轴度，保证挤压时凸模与凹模间隙的均匀性。

（4）通用性强

1）尽量采用通用标准模架。

2）工作部件可以快速更换。

3）易损件拆卸，安装方便。

4）紧固方法可靠。

5）使用调整方便。

6）操作安全、可靠。

（5）结构与选择的压力机相适应

1）冷挤压工艺所需的压力应在压力机所能提供的压力范围内，或压力机的额定压力行程大于模具工作的有效工作行程。

2）模柄尺寸应与压力机滑块中模柄孔尺寸相一致。

3）模具的最大平面尺寸必须能安装在机床工作台或工作垫板上。

4）模具的封闭高度必须在压力机的最大装模高度和最小装模高度之间。

5）模具压力中心与压力机机架重心吻合一致。

6）压力机的工作行程满足挤压工作的需要。

7）当压力机的刚性差、导轨精度低时，模座应设计得相当大，并采用四导柱结构。

8）如果因压力机的装模空间不足，在成形之前凸模不能预先插入凹模时，应在模座上安置可以调整凹模水平位置的微调螺钉。

（6）结构的经济性

1）结构要简单，总体结构尽量简化，零件形状尽量简单。

2）便于加工，制造容易。

3）安装、调整和更换迅速，将辅助作业调整时间减少到最小限度。

4）降低费用，尽量采用廉价材料，在万能、通用设备上加工，使材料消耗和工时费用最低。

2. 模具结构设计的主要内容

由于挤压件形状、尺寸及工艺方案和采用设备的不同，冷挤压模具有各种各样的结构。确定模具总体结构形式时，必须解决以下问题。

（1）模具类型的确定　模具类型有：简易敞开模、封闭成形模、导柱模、专用模、标准模、通用模、整体模、镶块模、分割型模具、大批生产精密模、小批生产简单模。

（2）工作部件结构形式　结构形式有整体式、分割式、组合式。

（3）连接部件结构形式　结构形式有模柄、模板、模座、多层垫板结构。

（4）卸料形式　卸料形式有顶杆卸料、环形顶出套卸料、打杆卸料、卸料圈卸料、卸料板卸料。

（5）导向方式　导向方式有导柱导向、凸模导向、模口导向、导向套导向。

（6）紧固方式　紧固方式有螺栓、压板、特形螺母、侧向紧定螺钉紧固。

（7）安全装置　安全装置有护圈装置、挡板装置、光电保护装置。

（8）操作方式　操作方式有手工操作、机械操作、自动化操作。

5.2.2　模具结构形式的种类

在上模板和下模座之间连以导向和卸料等装置的总体称为模架。最简易的冷挤压模架是没有导向装置的敞开式结构。模架是定位连接体，其上部模板或模柄与压力机的滑块连接，下部模座与压力机工作台连接，内部安装全部模具零件，构成模具的总体。

模架是模具的安装基础，又是承受较大载荷、传递压力的重要组件，是冷挤压模具的主要组成部分。模架不仅应该具有一定的强度，还要有足够的刚性和较好的精度。因

此，模架的技术条件，还是相当严格的。对模架的主要技术要求有以下三点。

(1) 模架的刚性要好　模架（上模板和下模座）要有足够的厚度和重量，具有较大的接触面积，并且能够将作用在模具上的负荷合理地分配到压力机滑块和工作台面上。要求能够承受一定的耐压能力而不变形，使模具工作平稳，始终处于正常的使用状态，以保证挤压件的精度和较高的模具寿命。与其他类型模具明显不同的是下模座大而厚，且应选用优质钢锻件制造。当模具载荷较大时，常采用多层的组合模座垫板，这在其他模具结构中是少见的。

(2) 模架应具有一定的强度　模架的强度应满足挤压时承载能力的要求，并确保模具在长期使用条件下，不变形，不损坏。

(3) 模架的精度要高　模架的精度必须保证凸、凹模相对位置的精确性和工作中不出现偏心载荷，不产生侧向推力。因此，要求模架的上下面应平行，导柱（导套）对下模座（上模板）的垂直度误差不大于 0.01mm，导柱与导套的配合精度不低于 7 级。

模架的类型主要取决于挤压变形的需要、生产批量和所选用设备的规格。模架按用途、模具结构形式和设备进行分类，见表 5-3。

表 5-3　模架的分类

用　　途	结　　构	设　　备
1）专用模架 2）通用模架 3）标准模架	1）敞开式模架 2）导柱模架 3）单一卸料形式模架 4）双级卸料模架	1）用于闭合高度小的压力机模架 2）刚性小的压力机模架

专用模架就是为某一种零件，甚至某一道挤压工序所设计的模架，没有通用性。在通用模架上，只要更换工作部件，就可以进行各种形式的冷挤压加工，适用于多种零件的小批量生产。通用模架可大大降低模具的成本，同时也将调整时间减少到最小限度。标准模架的特点是在压力机行程中，凸模的滑动部分在插入凹模之后才开始挤压成形，所以模具的凸、凹模对正中心简单。它适于反挤压、复合挤压等多种作业。

不带导向装置的模架，称为敞开式模架，其精度依靠设备来保证。这种结构只适于精度要求不高、挤压力不大、形状简单零件的小批量生产。一般情况下，冷挤压模具均附有各种形式的导向装置，其中模具自身实行导向，是最理想的导向方式。在不出现严重偏心载荷的情况下，采取导柱导套导向，也可收到较为满意的效果。模架面积不大、受力均匀时，可采用两根导柱导向。当模座面积较大、受力不均匀、有偏心载荷时，应采用四根导柱导向。这种带导向的模架优于敞开式模架，对保证凸、凹模的中心位置及使用寿命都有好处。对于刚性小的压力机，由于成形精度必须靠模架来保证，所以尺寸设计得相当大，且采用结实的四柱导向结构。如果模具的封闭高度不足，在成形前凸模不能预先进入凹模孔口实行导向，应在模架上附加有微调凹模水平位置的螺钉，以使凸、凹模对正中心。

若以模具上的卸料装置进行分类，冷挤压模具又可以分为四种：①无任何卸料装置的敞开式模架；②具有固定卸料板的冲挤模架（见图5-4）；③具有单一卸料形式的模架；④具有双级卸料装置特殊结构形式的模架。图5-5所示是结构最简单，在上下模座之间既没有安装导向装置，也没有设计卸料装置的类似一般冲压模具的结构形式。这种结构常用于有色金属材料的贯穿挤压。图5-4所示的挤镦模架常用于有色金属及低碳钢板材的冲挤加工。卸料板的作用是将废料条从凸模上卸下来。

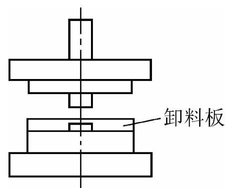


图5-4　带有固定卸料板的冲挤模架

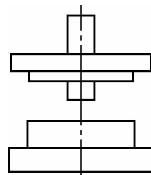


图5-5　敞开式简易模架

图5-6所示六种结构形式的冷挤压模架，其结构的明显特点是具有单一形式的卸料装置。图5-6a是带有弹性卸料板的敞开式模架。这种模架适于有色金属的反向挤压。若挤压件的壁厚精度要求较高，在模架上常安装有导柱和导套，如图5-6b所示。这类模架的特点是卸料板1均安装在下模座上，安装、调整和使用都很方便。图5-6c模架的弹性活动卸料圈2，则安装在模具的上部分，且兼有导向作用，即在凸模没进入凹模之前，卸料圈先进入凹模孔口实行导向。在回程时，卸料圈将抱在凸模上的挤压件卸下来。这种形式的模架结构简单，导向性能好，常用于反挤压和复合挤压。图5-6d是模具上部分具有硬性打料杆3卸料的模架。这种卸料装置具有三种功能：单纯卸料；卸料兼起导向作用；卸料导向兼起封闭挤压作用。图5-6e是常见的具有下顶出装置的模架。一般正挤压时，下部下顶杆或环形顶出套，常与挤压件的顶出端保留有一定的间隔空隙，此时下顶杆或环形顶出套只起顶件作用。反挤压时，下顶杆顶住毛坯，还起封闭挤压作用。图5-6f则是在导柱模架上，安装有下顶出装置的结构形式。在这种模架上，可以挤压较高精度的反挤压、正挤压和复合挤压件。

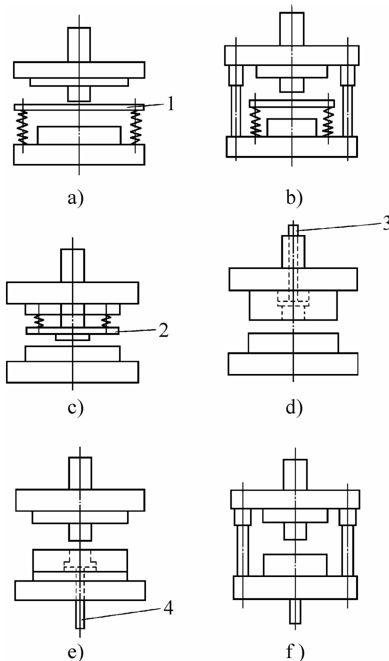


图5-6　单一卸料形式的冷挤压模架
a）敞开式　b）带导柱的卸料板　c）带卸料圈
d）带打料杆　e）无导柱及下顶杆
f）带导柱及下顶杆
1—卸料板　2—卸料圈　3—打料杆
4—下顶杆

图 5-7 所示为在模架上安装有双级卸料的三种典型结构形式。图 5-7a 在导柱导向模具的下模座上安装了弹性卸料板 1 和下顶杆 2 两种卸料装置。这种结构常用于尺寸精度和壁厚偏差要求高的深孔零件的反挤压加工。图 5-7b 模架的双级卸料装置（卸料圈 3 和下顶杆 2），分别安装在模具的上、下两部分。考虑到卸料圈 3 可以兼起凸凹模的导向作用，故在这种模架上没安装导柱。图 5-7c 模架的双级卸料都采取硬性推顶的结构形式。这种结构模架也可利用凸凹模或借助于卸料零件进行导向。在复杂零件的冷挤压模具上，这种双向硬性卸料装置，使用的场合很多，也是常见的一种模架结构形式。

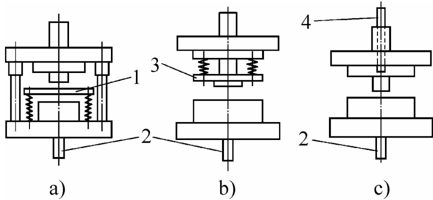


图 5-7　双级卸料形式的冷挤压模架
a）卸料板和下顶杆　b）卸料圈和下顶杆
c）打料杆和下顶杆
1—卸料板　2—下顶杆　3—卸料圈
4—打料杆

5.2.3　模具结构形式的确定

确定冷挤压模具总体结构形式时，主要考虑挤压件的特点（形状、尺寸、精度）、生产批量和设备类型三个基本因素，以及设计、制造和使用三大技术环节，见表 5-4。

表 5-4　模具结构形式的选择

基本因素			模具结构形式
挤压件	纯有色金属 简单形状		实心底封闭式模腔 不设顶出装置 带有卸料板
	铝合金、低碳钢 变形程度大 形状复杂		预应力组合凹模 各种镶块的分割形式 上下双级卸料装置
	精度	普通级	无导向、简易敞开模
		精密级	精密导向模具
生产批量	小批量		简易模具 整体结构
	大批量		标准、通用模架 分割形式 组合结构 具有导向装置 具有机械、自动上料装置
设备类型	小型设备		整体结构形式 模柄紧固
	大中型设备		分体结构形式 压板或 T 形螺栓紧固

一般来说，根据挤压件的形状复杂程度、挤压材料的变形性能和精度要求及生产批量的大小，考虑现有设备状况，便可大致确定模具的总体结构形式。当模具工作部件的结构和相关位置以及各零件之间的配合关系确定之后，模具的轮廓形状和尺寸便大致确定下来了。

在构思模具总体结构时，除满足上述结构设计的基本要求外，还应进一步协调、理顺挤压件图、工序图和挤压工艺路线。调整好工艺、模具和设备三者之间的关系，使模具总体结构设计成为挤压件的质量控制与保证体系。

5.3　典型模架结构

5.3.1　反挤压模架

1. 纯铝反挤压可调式通用模架（见图 5-8）

该模架本身没有导向装置，模架上下两部分则完全依靠压力机的导轨实行导向。因此，这种模架对压力机的导向精度要求较高。

由于挤压件不会卡在凹模内，因此不需要将挤压件从凹模中推出的顶杆机构，仅需考虑将挤压件从凸模 1 上卸下的卸料装置。卸料装置主要由卸料板 3、螺栓 4、弹簧 5 和卸料圈 2 四个零件组成。卸料器为三半的环形卸料圈 2，外面套以弹性开口环圈。卸料板借助螺栓与模座相连，并用弹簧 5 托住，这样可以减小凸模的长度。在这种模架上，凹模 7 与模座间保留有一定间隙，凹模在模座中的水平位置，通过四个调节螺钉 6 微调，以保证凸模 1、凹模 7 的同心对正。

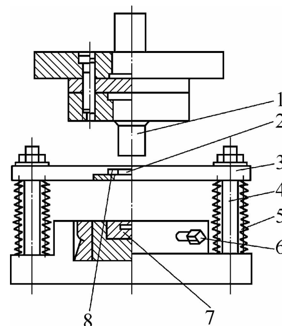


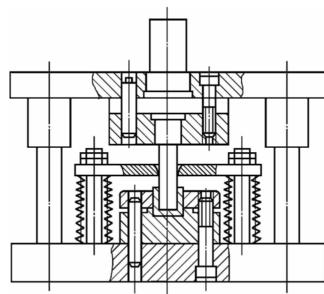
图 5-8　纯铝反挤压可调式通用模架

1—凸模　2—卸料圈　3—卸料板　4—螺栓　5—弹簧　6—调节螺钉　7—凹模　8—弹性环圈

2. 有色金属反挤压导柱模架（见图 5-9）

在这种模架上，模板和模座靠导柱导套连接在一起，即凸、凹模的相对位置是不可调节的，它们的同轴度要求，完全靠安装在模架上的导柱导套予以保证。

为了提高模具寿命，凹模分割为两体，以销钉找正中心，确保上下两部分孔径的衔接一致，利用四个螺钉将其直接紧固在模座上。


图 5-9　有色金属反挤压导柱模架

3. 钢铁材料反挤压不可调式通用模架（见图 5-10）

该模架是一种不带导向装置的敞开式模架，而且凹模本身位置是不可调节的，即凹模在模座中固定不动。因此，拟调整凸凹模的中心位置时，必须移动模

座。这种调节凸凹模中心位置的方法，要求操作者的技术水平相当高，主要依靠经验和操作的熟练程度。因此，这种模架只适于精度要求不高的浅杯形件的反挤压加工。

4. 钢铁材料反挤压可调式通用模架（见图 5-11）

凹模 2 可在模座 4 中作水平移动。这种模架常用于封闭高度小的压力机。由于模具空间高度的限制，凸模 1 不带有导向部分而设计得较短，凸模与凹模的同轴度，是通过四个微调螺钉 3 调节凹模在模座中的水平位置予以保证的。

钢铁材料反挤压时，挤压件常常卡在凹模中，因此模具的下方需设计顶出机构，一般采用双级顶杆的间接顶出方式。当反挤压件的孔较深时，挤压件有被凸模带上去的可能，这时应考虑增设上卸料板，将抱在凸模上的挤压件卸下来。

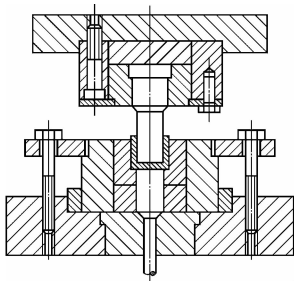


图 5-10　钢铁材料浅杯形件反挤压通用模架

5. 具有弹性卸料圈的反挤压模架（见图 5-12）

这种结构可以使凸模 4 形状简化，将凸模的导向功能转移到卸料圈 3 上，而且这种卸料圈，还可以保持凸模在整个工作过程中的稳定性。通过改变卸料圈的结构，该种模架既可挤压浅杯形件，还可以挤压深孔的筒形零件。

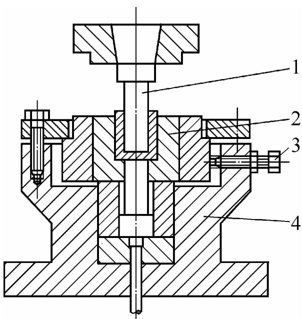


图 5-11　钢铁材料反挤压可调式通用模架
1—凸模　2—凹模　3—微调螺钉
4—模座

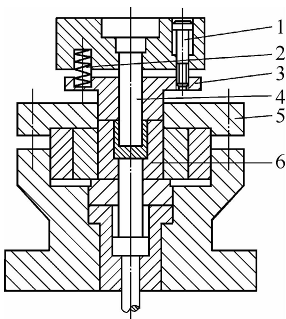


图 5-12　具有弹性卸料圈的反挤压模架
1—卸料螺钉　2—弹簧　3—弹性卸料圈
4—凸模　5—压圈　6—凹模

但是，由于凸模埋入卸料圈内，给调整模具带来一些困难。这时应依靠卸料圈与凹模 6 的精密配合来保证凸凹模的同轴度，因此，提高凸模与卸料圈、卸料圈与凹模的配合精度，尤其重要。设计这类模具时，应使弹簧和卸料螺钉尽可能靠近凸模位置，这样卸料圈工作平稳，导向精度好。

6. 钢铁材料反挤压标准模架（见图 5-13）

这种模架的特点是模具的导向依靠凸模 1 的非工作部分与凹模 2 孔口进行。在挤压开始之前，凸模的非工作部分便进入凹模实行导向，并在整个挤压过程中保持凸、凹模的同轴，所以，凸、凹模对正简单，导向精度高。然而，由于导向部分增加了凸模长度

和凹模厚度，且加大了退料行程，这样势必使模体变大，造成模具材料的浪费，也给加工带来一些困难。因此，它仅适于精度要求较高的反挤压件。

5.3.2　正挤压模架

在总体结构上，正挤压模架与反挤压模架有许多相似之处。

图 5-14 所示是小型正挤压模架的典型结构。它利用带模柄的上模板与压力机滑块连接在一起，凸、凹模均利用特形螺母紧固在模座上。

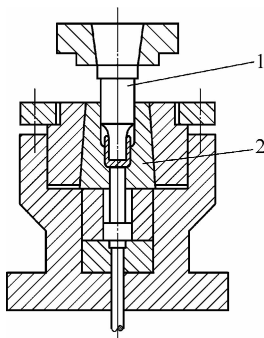


图 5-13　钢铁材料反挤压标准模架

1—凸模　2—凹模

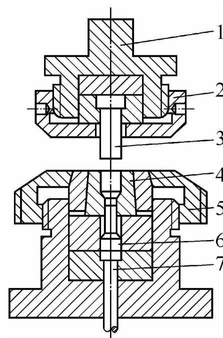


图 5-14　杆形件正挤压模架

1—模柄　2、5—特形螺母　3—凸模　4—凹模　6—顶料杆　7—顶杆

图 5-15 所示是带凸缘筒形件的正挤压模架。它采用环形顶套 1 和顶杆 2，将滞留在凹模中的工件顶出模外。

图 5-16 所示是深孔筒形件的正挤压模架。它的凸模设计成带有中心芯轴 2 的凸模外套 1 的镶套结构。凹模 3 下面的支承垫板 4，除对挤压件精整校形外，还与顶料杆 5 相互配合。

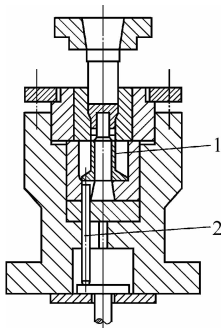


图 5-15　带凸缘筒形件正挤压模架

1—环形顶套　2—顶杆

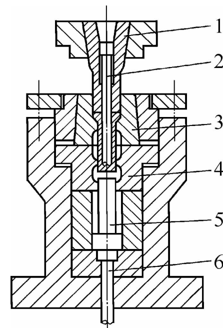


图 5-16　深孔筒形件的正挤压模架

1—凸模外套　2—芯轴　3—凹模　4—支承垫板　5—顶料杆　6—顶杆

正挤压时，凸模首先进入凹模口并开始导向，然后进行挤压。因此，在正挤压模架上，一般不设有专门的导向装置。由于挤压后制件滞留于凹模中，因此在模具的下部分均设计有顶出机构。

5.3.3　复合挤压模架

图 5-17 所示是带有导柱导套的复合挤压模架。该模架设有导柱导套的导向装置。当挤压件卡在反向凸模 6、凹模 3 内时，可由安装在上模板 1 上的拉杆 7，带动顶板 5、环形顶套 4，推动挤压件而实现顶出。由于该挤压件的反挤成形部分高度较小，锥顶角较大，一般不会卡在凸模 2 上，故可以不设计卸件装置。

5.3.4　简易敞开式通用模架

图 5-18 所示是没有导向装置的简易敞开式模架。这类模架的主要特点是模板和模座均分割开来进行加工，然后用螺栓和销钉紧固连接在一起。具有制造简单、拆卸更换方便等优点，适于多品种、小批量、精度要求不高的挤压生产。在这种模架上，只要更换凸、凹模等几个工作部件，便可进行正挤压、反挤压和复合挤压等多种挤压操作。

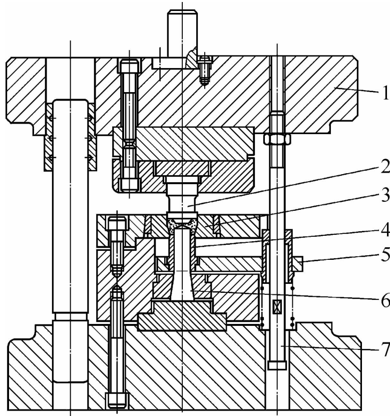


图 5-17　带有导柱导套的复合挤压模架
1—上模板　2—凸模　3—凹模　4—环形顶套
5—顶板　6—反向凸模　7—拉杆

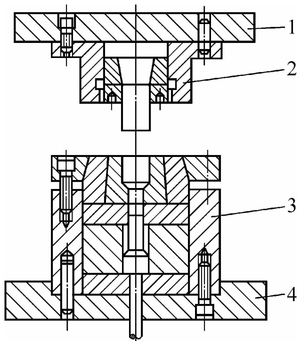


图 5-18　简易敞开式模架
1—模板　2、3—上、下模套　4—模座

5.3.5　小型冷挤压通用模架

图 5-19 所示是安装在 800kN 普通压力机上，用于正挤压带凸缘实心件的小型通用模架。它的可动部分通过带孔的整体圆柱形模柄 2 与压力机的滑块连接在一起。固定凹模 7 和下凸模 8 等工作部件的模座 15，其下部伸出呈十字形，且两端均带有圆孔。其中上端装入凹模等工作零件，下端安装退料的顶杆。顶杆借助于三根均布的顶棒 14 带动环形顶套 9，将滞留在凹模中的挤压件顶出模外。顶杆是由一对机械拉杆 16，通过滑块带动的。凸模 6 和凹模 7 均采用特制的圆形螺母 5 紧固。

该模架没有导向装置，依靠凸模、凹模自身实行导向。在这种模架上，只要更换几个主要工作部件，便可进行各种类型零件的正挤压和复合挤压加工。

5. 3. 6 中型冷挤压万能式通用模架

图 5-20 所示是安装在 2500kN 压力机上的中型冷挤压万能式通用模架。在这种模架上，只要更换几个主要工作零件，便可进行正挤压、反挤压和复合挤压，几乎可以成形任意形状的复杂零件。

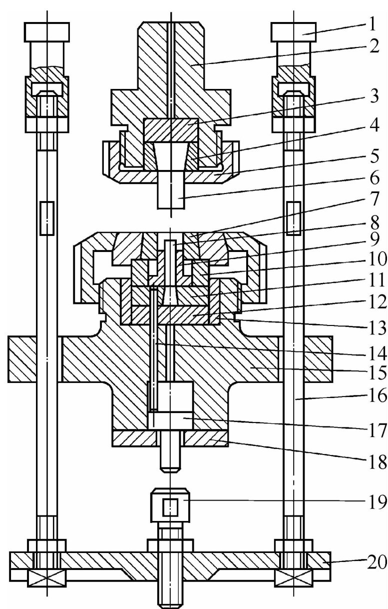


图 5-19 小型冷挤压通用模架

1—调节套 2—圆柱形模柄 3—上垫块 4—压圈 5—圆形螺母 6—凸模 7—凹模 8—下凸模 9—环形顶套 10—支承圈 11—垫圈 12—下垫块 13—衬套 14—顶棒 15—模座 16—拉杆 17—顶杆 18—压盖 19—顶块 20—退料板

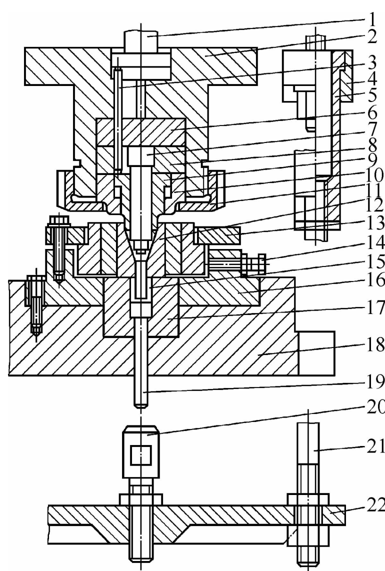


图 5-20 中型冷挤压万能式通用模架

1—打料杆 2—上模板 3—卸料杆 4—拉杆套 5—调节杆 6—垫块 7—凸模 8—压套 9—卸料套 10—固定套 11—特形螺母 12—凹模 13—压圈 14—螺栓 15—顶料杆 16—模座 17—衬套 18—底座 19—顶杆 20—顶料杆 21—拉杆 22—拉板

该模具有双级硬性卸料装置。上部卸料是利用安装在滑块上的活动横梁，通过打料杆 1 和三根卸料杆 3 带动卸料套 9。此卸料套用来从凸模 7 上卸下挤压件。同时，当凸模进入较深的位置时，导引凸模并与凹模 12 起导向作用，还可根据变形需要，对金属实行封闭挤压，起到相当于凸模的作用。凸模利用压套 8、固定套 10 和特形螺母 11 紧固。下部卸料是借助于一对由滑块带动的拉杆 21，通过双级顶杆作用，将滞留在凹模中的挤压件顶出模外。一般情况下，下部顶料杆 15 直接参与挤压变形工作，是一个直接受力的零件。

该模架的另一特点是，模座为双层结构，其接触面积相当大，又具有足够的厚度。

这种结构设计完全可以弥补普通压力机的工作台面孔大、垫板过薄的缺点，非常适用于形状复杂、挤压力大的作业情况。

5.4　模具工作部分的设计

5.4.1　反挤压凸模设计

反挤压凸模一般由夹紧和成形两部分组成，如图 5-21a 所示；当依靠模口导向时，则应由夹紧、导向和成形三部分构成，如图 5-21b 所示。

1. 设计时应注意的问题

反挤压凸模的工作条件最为恶劣，应根据挤压件形状、尺寸、精度要求以及生产批量等因素确定设计方针。一般应注意如下一些问题。

1）为了保证凸模装卸简便、紧固可靠，凸模的夹紧部分一般做成阶梯形或锥形。

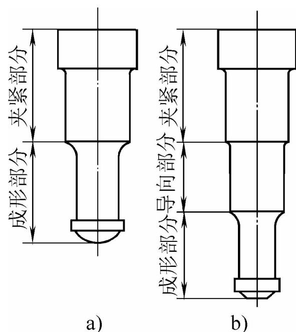


图 5-21　反挤压凸模的典型结构

2）当凸模带有导向部分时，导向部分长度按刚开始挤压时伸入凹模的长度不小于 5mm 的原则来设计。

3）为了防止应力集中而造成模具的早期失效，所有过渡部分皆应设有足够大的圆角半径或倒角。

4）为了防止凸模产生纵向弯曲，凸模成形部分长度 l 应尽量短一些。l 与工作带的直径 d_1 之比值：纯铝反挤压时，$l/d_1 \leqslant 10$；纯铜反挤压时，$l/d_1 \leqslant 6$；黄铜反挤压时，$l/d_1 \leqslant 5$；低碳钢反挤压时，$l/d_1 \leqslant 3$。

5）凸模与上压力板接触表面应紧密配合，不允许留有间隙。

6）为了提高凸模的强度，当凸模承受的单位挤压力较大或反挤压多阶梯内孔时，应尽量做成组合式结构，如图 5-22 所示。各部分的弹性变形量不能相互干涉，应做出正好抵消弹性变形量的退让槽。

2. 反挤压凸模的形状

（1）钢铁材料反挤压凸模　钢铁材料反挤压凸模的形状主要有如图 5-23 所示的三种。

1）平底凸模主要用于挤压件结构要求平底或单位挤压力要求较小的情况下。

2）尖顶锥凸模可以减小单位挤压力，但易造成壁厚不均，因此，实际生产中应用不多。

3）带平底的锥形凸模兼有前两者的优点，它既可以减小单位挤压力，又可以保证均匀的壁厚，因此，实际生产中应用最多。

（2）有色金属反挤压凸模　有色金属反挤压凸模成形部分的形状主要有如图 5-24 所示的四种，其中应用最多的也是带平底的锥形凸模。有色金属反挤压一般没有顶件机构。因此，凸模的锥顶角不宜过大，否则挤压件不易被凸模带出。

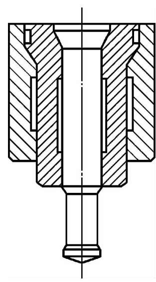


图 5-22　组合式凸模

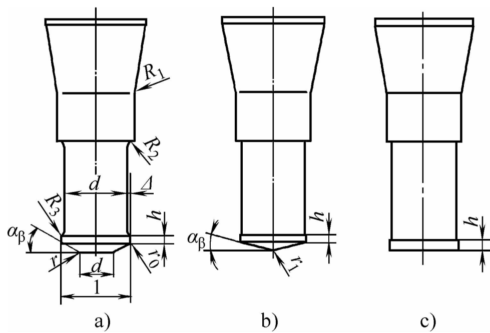


图 5-23　钢铁材料反挤压凸模的形状

a）带平底的锥形凸模　b）尖顶锥凸模　c）平底凸模

3. 带平底的锥形凸模成形部分的设计

带平底的锥形凸模成形部分尺寸代号如图 5-25 所示，各部分尺寸在设计计算时，可按表 5-5 确定。

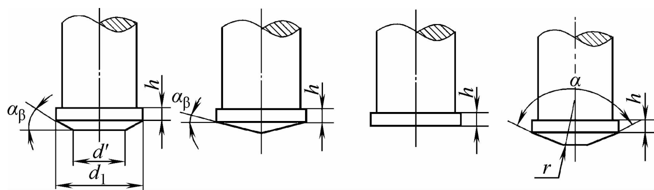


图 5-24　有色金属反挤压凸模的形状

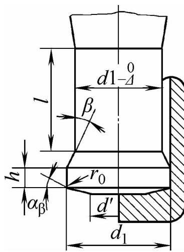


图 5-25　带平底的锥形凸模成形部分尺寸代号

表 5-5　反挤压凸模成形部分尺寸的设计计算表　　　　（单位：mm）

各部名称	毛坯材料		
	钢铁材料	有色金属	备注
底部平坦部分直径 d'	$0.5d_1$	$0.7d_1$	
锥顶角 α_β	$7° \leqslant \alpha_\beta < 27°$	$3° \leqslant \alpha_\beta < 25°$	
工作带高度 h	2 ~ 3	0.5 ~ 1.5	
退让量 Δ	$(0.008 \sim 0.01)d_1$	$(0.05 \sim 0.15)d_1$	d_1—挤压件内径 h—挤压件高度 b—杯底厚度
倒斜度 β	4° ~ 5°	—	
锥面与工作带交接处 r_0	0.5 ~ 1.5	0.3 ~ 0.5	
其他处 r	0.5	0.3	
成形部分长度 l	$h-b$ + 卸件板厚度	$h-b$ + 卸件板厚度	

4. 防止凸模失稳的措施

当凸模的实际长度 l 与直径 d_1 之比较大时，凸模会失去稳定而产生纵向弯曲。因

此，应采用预防失稳的措施。

对于反挤压纯铝来说，当 $l/d_1>3$ 时，为了增加纵向稳定性，凸模的工作端面一般不要研磨，保持表面粗糙度 Ra 为 0.8μm 即可。为了加大端表面的摩擦阻力，也可在凸模工作端面上加工出如图 5-26 所示的工艺凹槽。凸模借助于工艺凹槽在刚开始挤压的瞬间就将毛坯咬住，使凸模的稳定性得到改善。工艺凹槽必须对称于凸模中心，其目的是使凸模在工作过程中保持良好的同轴度，否则会在挤压时发生偏移而使凸模折断。工艺凹槽的槽宽一般取 0.3～0.8mm，深度取 0.3～0.6mm；工艺凹槽尖顶处应用圆弧相连。

钢铁材料反挤压由于单位挤压力很大，工作端面不允许开出工艺凹槽，否则就会在凹槽处因应力集中而开裂。当反挤压钢铁材料的凸模长径比 $l/d_1>2$ 时，可将凸模工作部分以上的直径加大，并铣出三条凹槽，如图 5-27 所示。这样一来，卸件板便在这三点上将套在凸模上的挤压件卸下。这种结构既增加了凸模的有效长度，降低凸模总长度，增加纵向稳定性，又保证了卸件板有足够的厚度。

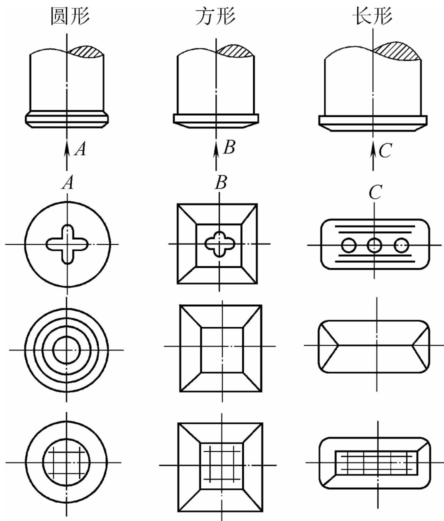


图 5-26　反挤压凸模工作端面的工艺凹槽

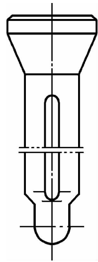


图 5-27　在凸模上铣出三条凹槽

5.4.2　反挤压凹模设计

反挤压凹模一般由成形和顶出两部分构成。当有导向装置时，应由导向、成形和顶出三部分构成，如图 5-28 所示。

1. 设计时应注意的问题

1）反挤压凹模工作时内壁承受着较大的单位压力，特别是反挤压钢铁材料时工作内压高达 2000MPa。因此，为了提高凹模的强度，一般皆应采用组合式凹模。

2）工作内压力主要作用在凹模的成形部分。因此，加强圈的设计应特别注意加强成形部分。

3）加强圈与内层凹模下底面不应在同一平面上，而应略低于内层凹模。即在模具装配时，应保证组合凹模中的内层凹模下底面与下底板接触面紧密配合，不留间隙；而加强圈与下底板应留出一定的间隙，间隙值一般不小于 0.1mm。

4）组合凹模外径与内径之比一般取 4～6，超过 10 以上已无显著加强效果。

5）过渡圆角处应设计足够大的圆角半径，以防止应力集中而开裂，对于应力集中特大的尖角处，应采用分割式凹模。

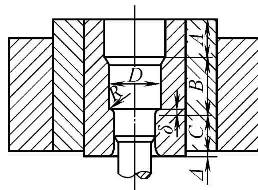


图 5-28　反挤压凹模的典型形式
A—导向部分　B—成形部分
C—顶出部分

2. 反挤压凹模的形状

反挤压凹模的形状除了图 5-28 所示的以外，还有如图 5-29 所示的六种。

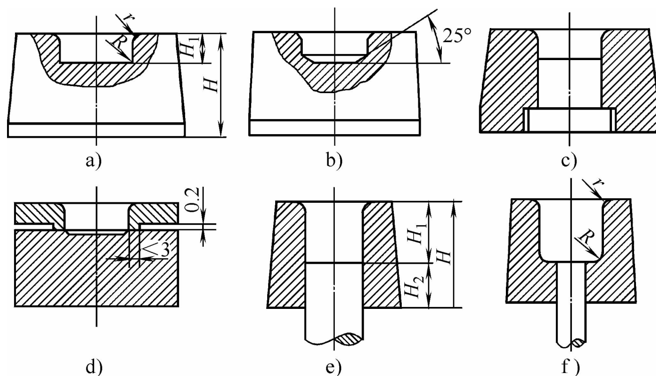


图 5-29　反挤压凹模的结构形状

图 5-29a、b、c、d 所示四种凹模主要用于不需要顶件的反挤压，常用于反挤压有色金属薄壁杯形件。其中，图 5-29a、b 所示凹模为整体式凹模。图 5-29a 所示凹模的特点是结构简单，制造方便，但在转角半径 *R* 处易开裂下沉，模具使用寿命较短，适宜于批量不大的有色金属反挤压。图 5-29b 所示凹模的特点是转角处采用 25°斜角过渡，有利于金属流动，其寿命比图 5-29a 所示凹模长。图 5-29c、d 所示凹模为分割式凹模，寿命比整体式凹模长，因此应用较广。图 5-29c 所示凹模为纵向分割式反挤压凹模，采用过盈量较大的配合，可以不产生毛刺；图 5-29d 所示凹模为横向分割式凹模，为了避免被挤金属材料流入上下分块的拼合面处，拼合面宽度应尽量取小一些，一般不宜超过 3mm，拼合面应仔细研磨，表面粗糙度 *Ra* 不大于 0.1μm，其余部分留出大于 0.2mm 的空隙。此外，上下分块要求较高的制造精度，其同轴度不应大于该处公差的 1/4～1/3。图 5-29e、f 及图 5-28 皆带有顶出装置，适用于钢铁材料的反挤压。其中图 5-29e 适用于挤压件底部外形呈尖角的反挤压。图 5-29f 适用于挤压件底部呈大圆角的反挤压。它的顶杆高出的部分正好抵消工作时的弹性变形量。图 5-28 适用于薄底杯形件的反挤压。这种零件挤压到最后阶段时，单位挤压力会急剧升高，顶杆的弹性变形较大。为了使顶

杆受压缩后，正好与凹模下底面位于同一平面上，顶杆与凹模接触面无缝隙，以防产生纵向毛刺，顶杆应略高于凹模型腔底面一微小高度 $\delta = R$（R 为凹模型腔转角处圆角半径）。

3. 反挤压凹模各部分尺寸的设计计算

反挤压凹模各部分尺寸代号如图 5-30 所示。

凹模型腔高度为

$$H_2 = h_0 + h + r + (2 \sim 4)\,\text{mm}$$

式中　h_0——毛坯的高度；

r——凹模入口处圆角半径，一般取 2～3mm；

h——凸模工作带高度。

顶件部分高度 H_1：当 $D = 2D_2$ 时，$H_1 = 2D_2$；$D = 1.5D_2$ 时，$H_1 = D_2$。

总高度为：$H = H_1 + H_2 \geqslant 2.5H_2$。

过渡处圆角半径 R 取 0.5～2.0mm。

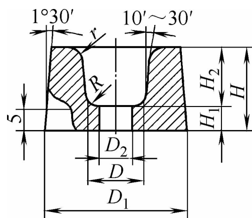


图 5-30　反挤压凹模各部分尺寸代号

注：D—凹模型腔内径，等于挤压件外径；D_2—顶件部分内腔直径；$D_2 = d_1$，d_1 为顶出杆直径（见图 5-31）；D_1—凹模外径。

5.4.3　顶出杆设计

顶出杆的标准形状及尺寸代号如图 5-31 所示。

顶出杆和凸模、凹模一样，承受着较大的单位压力。因此，设计时应注意如下问题。

1）顶出杆直径 d_1 与凹模工作带的直径为基孔制间隙配合 $\frac{H7}{h6}$ 或 $\frac{H7}{g6}$。

2）顶出杆端表面承受高压时，中心处单位压力最大。为了抵消单位压力造成的弹性变形量和保证挤压件底面得到平整的端表面，顶出杆端表面不能做成平面，而应做成圆锥面，中心处高度 Δ 取 0.03～0.1mm。

3）为了防止顶出杆因弹性变形而产生的横向加粗与凹模内孔表面相碰，顶出杆在与凹模工作带配合的配合面以下部分应设有一定的退让量；双边取 0.5～1.0mm，即 $d_2 = d_1 - (0.5 \sim 1.0)\,\text{mm}$；顶出杆与凹模工作带配合部分的高度 h' 取 5～10mm。

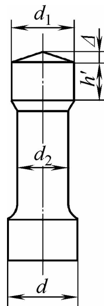


图 5-31　反挤压模具的顶出杆

5.4.4　底面向上空心件的正挤压模具设计

底面向上空心件正挤压任意瞬间工作情况，如图 5-32 所示。在挤压过程中，空心件顶部不能与顶出套相碰，否则会损坏模具、设备，甚至发生人身事故。

1. 凸模的设计计算

底面向上空心件正挤压凸模如图 5-33 所示。设计时应注意的问题与反挤压凸模相同。

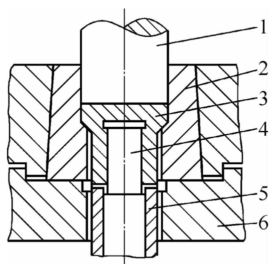


图 5-32　底面向上空心件正挤压任意瞬间工作情况

1—凸模　2—凹模　3—挤压件　4—反向凸模　5—顶出套　6—底板

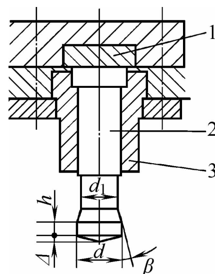


图 5-33　底面向上空心件正挤压凸模

1—压力板　2—凸模　3—凸模固定圈

凸模工作部分直径 d 的名义尺寸等于凹模内径 D，见图 5-34，相互配合关系为基孔制间隙配合$\frac{H7}{h6}$或$\frac{H7}{g6}$。

为了使挤压件底面得到平整的端表面，凸模端面应做成中心略高的锥形，锥高 $\Delta=0.5\sim1\text{mm}$。

为防止凸模因弹性变形而卡死，工作部分高度以上应做出一定的退让量，其值双边为（0.04 ~ 0.08）d，即 $d_1=[1-(0.04\sim0.08)]d$。

倒斜度：$\beta=3°\sim5°$。

所有过渡处圆角半径：$R\geqslant0.2\text{mm}$。

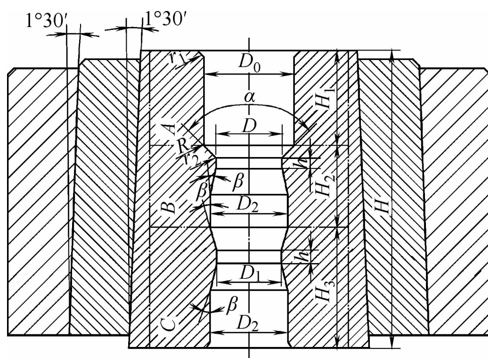


图 5-34　底面向上空心件正挤压凹模

A—容料部分　*B*—成形部分　*C*—矫直部分

2. 凹模的设计计算

底面向上空心件正挤压凹模的典型形状如图 5-34 所示，一般由容料、成形、矫直等三部分组成。设计时应注意的问题与反挤压凹模相同。各部分尺寸的具体设计计算分述于下。

凹模型腔的内径 D_0 一般取等于毛坯的直径 d_0。

凹模锥角 α 的选取应综合考虑单位挤压力及机加工余量等因素，以取 $\alpha=90°\sim150°$为宜，$\alpha=120°$最常用。

工作带直径：$D=$空心件外径 d_1。

工作带高度 h 不宜过大，以防材料粘模。对于挤压件材料为钢铁材料时，$h=2\sim$

3mm；对于挤压件材料为有色金属时，$h=1.0\sim2.0$mm。工作带以下应留有退让量，其值双边为 0.2 ~ 0.4mm，即 $D_2=D+(0.2\sim0.4)$mm。斜度：$\beta=3°\sim5°$。

凹模内腔直壁向锥面过渡处的圆角半径：$R=3\sim5$mm。

锥面向工作带过渡处的圆角半径：$r_2=0.5\sim2$mm。

容料部分高度为

$$H_1=h_0+r_1+(5\sim10)\text{mm}$$

式中　h_0——毛坯高度；

r_1——凹模入口处圆角半径，一般取 2 ~ 4mm。

成形部分高度：$H_2=(1.0\sim1.2)D$。

矫直部分高度：$H_3=(1.0\sim1.5)D$，直径 $D_1=D$。

总高度：$H=H_1+H_2+H_3$。

3. 反向凸模的设计计算

反向凸模的典型结构如图 5-35 所示。由图 5-32 可知，底面向上空心件的正挤压实质上是一种倒置的反挤压，反向凸模的作用与反挤压凸模相同。因此，设计时应考虑的问题、成形部分的设计计算完全与反挤压凸模相同。

4. 筒式顶件套的设计

筒式顶件套的装配图如图 5-36 所示，筒式顶件套的内径等于反向凸模工作带的直径，其配合关系为基孔制间隙配合$\frac{H7}{h6}$或$\frac{H7}{g6}$。筒式顶件套的外径应略小于凹模工作带的直径，装配后应留有 0.20mm 以上的间隙。顶件套底面与轴心线的垂直度误差不得超过 0.1mm。

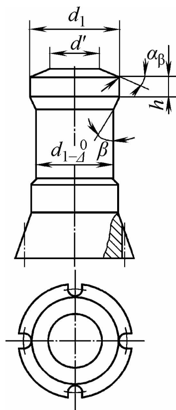


图 5-35　反向凸模

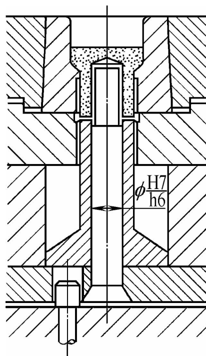


图 5-36　筒式顶件套

5.4.5　实心件或口部向上空心件的正挤压模具设计

正挤压实心件和口部向上空心件（简称正挤空心件）是应用最广的正挤压法。

1. 凸模的设计计算

（1）凸模的形状　正挤压实心件和空心件的凸模形状主要有如图 5-37 所示的五种。

图 5-37a 所示凸模用于正挤压实心件，结构简单，制造方便。图 5-37b、c、d、e 所示凸模用于正挤压空心件。其中，图 5-37b 所示凸模为整体式结构，芯棒与凸模做成一体，结构简单，便于制造，但在冷挤压过程中，由于向下流动的金属紧贴芯棒，企图拉着芯棒一起向下运动，该运动受到芯棒上端肩部的限制，从而使芯棒受一个很大的拉力，极易将芯棒拉断；而且在凸模回程时，金属紧抱芯棒，挤压件很难从芯棒上脱下。因此这种凸模结构仅适用于相对孔径较大的杯形件。图 5-37c、d、e 所示凸模为组合式凸模。其中，图 5-37c 所示凸模的芯棒与凸模内孔之间采用基孔制过渡配合$\frac{H7}{k6}$，无相对滑动。此时，芯棒易被拉断。因此，这种结构仅适用于相对孔径较大，被挤压材料硬度较低和摩擦因数较小的情况下。图 5-37d 所示组合式凸模的凸模内孔与芯棒采用基孔制间隙配合$\frac{H7}{h6}$。在挤压过程中，芯棒可随变形金属向下移动一段距离，从而改善了芯棒的受拉情况，使芯棒不易被拉断。这种结构主要用于钢铁材料空心件正挤压。图 5-37e 所示组合式凸模是在芯棒上部放置一弹簧，这就可以克服更大的拉力，但由于在凸模固定端需要留出放置弹簧的位置，势必减小凸模的承压面积。因此，这种结构仅在被挤材料硬度和摩擦力都比较大的情况下才采用。

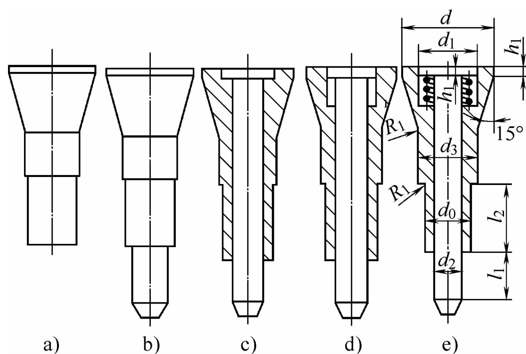


图 5-37　正挤压凸模的基本形式

（2）凸模各部分尺寸的设计计算　现以图 5-37e 所示组合式凸模为例，其他凸模可参照进行。

d_2 等于挤压件内孔直径；有时为了降低内孔表面粗糙度和提高材料的塑性，可比挤压件内孔直径略大一点，其值一般为 $\phi0.01 \sim \phi0.05$mm。

d_0 等于挤压件头部直径，一般也等于挤压凹模腔内径 D_0；与凹模内腔的配合关系为基孔制间隙配合$\frac{H7}{h6}$或$\frac{H7}{g6}$。

$h_1 = 0.7d_2$；$d = (1.8 \sim 2.0)d_0$；$d_3 = (1.2 \sim 1.3)d_0$；$d_1 = d_2 + 5$mm；l_1 = 毛坯高度 + 凹模工作带高度，如果挤压通孔毛坯，则 l_1 应大于空心毛坯高度；l_2 = 挤压工作行程 + 卸件板厚度 + 10mm；$R_1 = (0.1 \sim 0.2)d_0$，其他处 $R \geqslant 0.2$mm。

为了减小芯棒在挤压过程中的拉应力及便于卸件，芯棒工作端可加工成 10′～30′的斜度，如结构允许，最大可增至 5°。

2. 凹模的设计计算

（1）凹模的结构形状　正挤压凹模的结构形状主要有如图 5-38 所示的五种。图 5-38a 所示凹模为整体式凹模，应用较广，但往往由于强度不够，易产生开裂。图 5-38b、c、d、e 所示凹模为分割式凹模。其中，图 5-38b、c 所示凹模为纵向分割式凹模，最内层小凹模与挤压筒之间采用过盈配合，过盈量一般应大于 0. 02mm。图 5-38c 所示凹模的挤压筒末端 10mm 处加工成 5°锥度，目的在于使小凹模易于压入挤压筒内。图 5-38d、e 所示凹模为横向分割式凹模，加工时应严格保证上半块凹模与下半块凹模的同轴度，否则会影响挤压件质量及模具寿命。为防止在挤压过程中，金属材料流入接缝，拼合面的宽度不宜超过 3mm，一般以等于 1～3mm 为宜，在拼合面处将其中一块加工成大于 1°的锥角，以防相碰，拼合面要进行抛光加工，加工得越光越好。

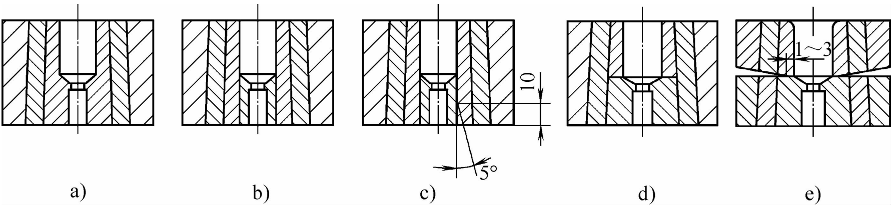


图 5-38　正挤压凹模的基本形式

正挤压细长零件时，为了矫直挤压件，在凹模下面最好再加导向套，如图 5-39 所示。

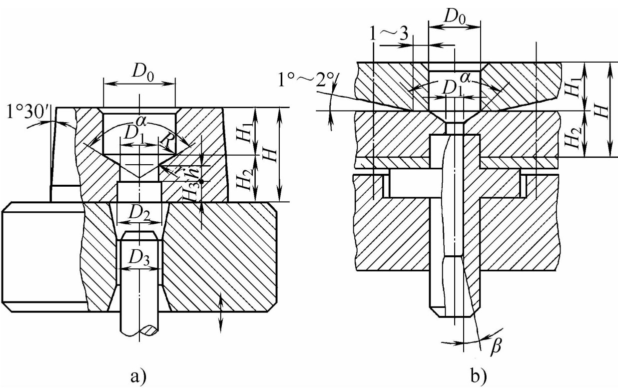


图 5-39　导向套

a）用于钢铁材料挤压件　b）用于铝制挤压件

（2）凹模各部分尺寸的设计计算　正挤压实心件或正挤压空心件凹模各部分尺寸的设计计算如表 5-6 所示，表中代号见图 5-39。

表 5-6　正挤压凹模各部分尺寸的设计计算表

各部分尺寸名称	被挤压材料种类	
	钢铁材料	有色金属
凹模型腔内径 D_0	$d_0+(0.1\sim0.2)$mm	$d_0+(0.1\sim0.2)$mm
工作带直径 D_1	等于挤压件外径	等于挤压件外径
工作带以下退让槽直径 D_2	$D+(0.5\sim1.0)$mm	$D+0.1$mm
导向套内径 D_3	$D_1+0.02$mm	—
工作带高度 h	$3\sim4$mm	$1\sim2.5$mm
凹模锥角 α	$90°\sim120°$	$130°\sim140°$
锥面与工作带交接处的 r	$0.5\sim2.0$mm	$0.3\sim1.0$mm
锥面与型腔直壁交接处的 R	$3\sim5$mm	$2\sim3$mm
凹模型腔高度 H_1	h_0+10mm	$h_0+(3\sim5)$mm
成形部分高度 H_2	$(1.1\sim1.2)D_1$	$(1.1\sim1.2)D_1$
斜度 β	—	$1°\sim3°$

注：d_0—毛坯直径；h_0—毛坯高度。

5.4.6　制造尺寸及公差计算

凸模与凹模的结构尺寸计算出来以后，还必须确定凸模与凹模的制造尺寸与公差，以便于标注在图样上，供加工制造与检验使用。

关于冷挤压凸、凹模的制造尺寸及公差，可参照表 5-7 确定。

表 5-7　冷挤压凸、凹模制造尺寸及公差计算式

尺 寸 要 求	零件示意图	计 算 公 式
要求准确的外形尺寸		$D_d=(D-\Delta)+\delta_d$ $d_P=(D-\Delta-2t)-\delta_p$ $\delta_d=\delta_p=\left(\frac{1}{5}\sim\frac{1}{10}\right)\Delta$
要求准确的内孔尺寸		$d_P=(\delta+\Delta)-\delta_d$ $D_d=(d+\Delta+2t)+\delta_p$ $\delta_p=\delta_d=\left(\frac{1}{5}\sim\frac{1}{10}\right)\Delta$

注：D、d—零件公称直径；D_d—凹模直径；d_P—凸模直径；Δ—零件公差；t—零件壁部厚度；δ_d—凹模制造公差；δ_p—凸模制造公差。

5.5　组合凹模的计算及应用

所谓组合凹模就是利用过盈配合，用一个或两个以上套圈把凹模紧套起来而制成多层组合式结构，如图 5-40 所示。这种组合式结构可以使两个套圈之间以及套圈与凹模之间，由于过盈配合而产生压应力。这样一来，内层内模便承受着径向外压力，这就可以部分或全部地抵偿产生在凹模内壁的切向拉应力，有效地防止内层凹模的纵向开裂。

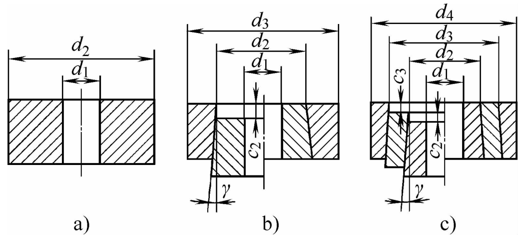


图 5-40　组合式凹模

a）整体式凹模　b）两层组合凹模　c）三层组合凹模

采用组合凹模的优越性如下：

1）可以使凹模内壁处的切向拉应力大大地减小，甚至可以使内壁完全没有切向拉应力的作用。这就提高了凹模的强度，延长了模具的寿命。

2）可以减少昂贵的高级模具材料的消耗，大大地降低模具成本。这是因为组合凹模仅内层凹模才用高级模具材料，而中圈、外圈可用一般合金工具钢或低合金钢等。

3）硬质合金之类性脆、抗拉性能差的材料作整体式凹模是困难的，但用来作组合凹模中的内层凹模是完全可行的，且可以充分发挥这种材料的潜力，这说明可用来作组合凹模的模具材料比整体式凹模更多更广。

4）由于内层凹模尺寸大大减小，使之便于进行热处理和易于达到规定的技术要求。

5.5.1　组合凹模的计算

凹模外径与内径的比值增大，凹模的强度增加，但在外径为内径的 4 ~6 倍以后，再继续增大外径便没有多大的意义了。因此，在生产中往往取组合凹模的总直径比（外径与内径之比）为 4 ~6。

1. 两层组合凹模

（1）两层组合凹模各圈直径的确定　两层组合凹模见图 5-40b。

$$d_3/d_1 = 4 \sim 6 \tag{5-1}$$

即

$$d_3 = (4 \sim 6)d_1$$

或

$$d_2 \geqslant 2d_1 \tag{5-2}$$

$$d_3 = 2d_2 \tag{5-3}$$

式中，d_1、d_2、d_3 的意义参见图 5-40b。

（2）径向过盈量与轴向压合量的确定　在确定了各圈直径之后，便可确定 d_2 处的径向过盈量（双面）Δd_2 与轴向压合量 c_2（见图 5-40b）。先从图 5-41 查出径向过盈系数 β_2，再按图 5-42 查得轴向压合系数 α_2，则

$$\Delta d_2 = \beta_2 d_2 \tag{5-4}$$

$$c_2 = \alpha_2 d_2 \tag{5-5}$$

式中　d_2——内层凹模外径（mm）；

Δd_2——d_2 处的径向过盈量（双向）（mm）；

β_2——径向过盈系数；

c_2——d_2 处的轴向压合量（mm）；

α_2——d_2 处的轴向压合系数。

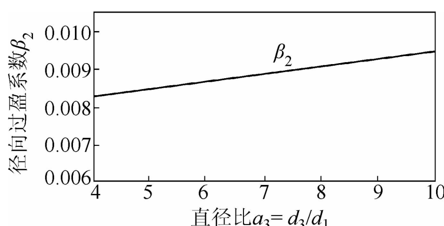


图 5-41　两层组合凹模径向过盈系数与直径比的关系

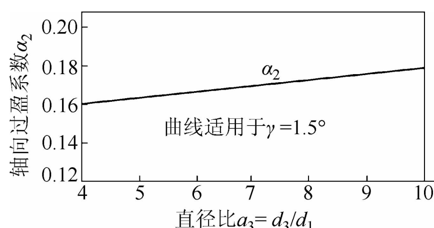


图 5-42　两组合凹模轴向压合系数与直径比的关系

2. 三组组合凹模

（1）三层组合凹模各圈直径的确定　三层组合凹模见图 5-40c。

$$d_2 \geqslant 1.6d_1 \tag{5-6}$$

$$d_3 = 1.6d_2 = 1.6^2 d_1 = 2.56d_1 \tag{5-7}$$

$$d_4 = 1.6d_3 = 1.6^3 d_1 = 4.1d_1 \tag{5-8}$$

式中，d_1、d_2、d_3、d_4 的意义参见图 5-40c。

（2）径向过盈量与轴向压合量的确定　同样，在确定三层组合凹模各圈直径后，可按图 5-43 查出径向过盈系数 β_2、β_3（或由表 5-8 中查出），再按图 5-44 查得轴向压合系数 α_2、α_3，然后按下列公式计算径向过盈量 Δd_2、Δd_3 与轴向压合量 c_2、c_3。

$$\Delta d_2 = \beta_2 d_2 \tag{5-9}$$

$$c_2 = \alpha_2 d_2 \tag{5-10}$$

$$\Delta d_3 = \beta_3 d_3 \tag{5-11}$$

$$c_3 = \alpha_3 d_3 \tag{5-12}$$

式中　Δd_2——d_2 处的径向过盈量（双向）（mm）；

Δd_3——d_3 处的径向过盈量（双向）（mm）；

c_2——d_2 处的轴向压合量（mm）；

c_3——d_3 处的轴向压合量（mm）；

β_2——d_2 处的径向过盈系数；
β_3——d_3 处的径向过盈系数；
α_2——d_2 处的轴向压合系数；
α_3——d_3 处的轴向压合系数。

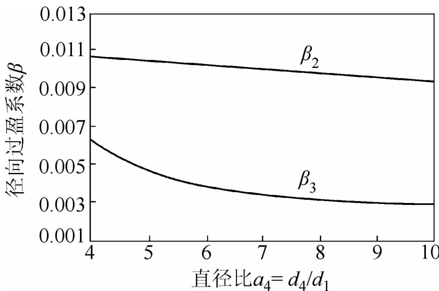


图 5-43　三层组合凹模径向过盈系数与直径比的关系

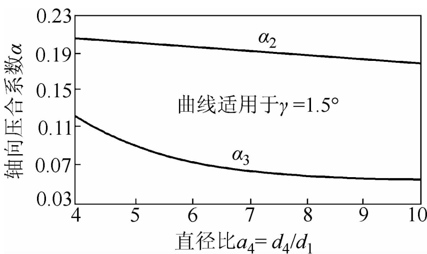


图 5-44　三层组合凹模轴向压合系数与直径比的关系

表 5-8　组合凹模径向过盈系数经验值

凹 模 材 料	径向过盈系数 β	
	β_2	β_3
硬质合金	0.0045 ~ 0.0065	0.004 ~ 0.006
合金模具钢	0.003 ~ 0.006	0.004 ~ 0.008

5.5.2　组合凹模压合工艺的应用

预应力圈用钢的材料选择取决于所需要的强度大小、圈的尺寸以及材料和热处理的成本。因为所希望得到的强度必须在预应力圈的全断面上，所以材料的淬透性是一个重要的指标。此外，如果利用加热压合工艺，那么预应力圈用钢的回火温度必须高于压合时需要的温度。预应力圈的材料及其性能见表 5-9。

表 5-9　预应力圈的材料及其性能

牌号	下屈服强度 R_{eL}/MPa	伸长率 A(%)	硬度 HRC	淬火温度/℃	回火温度/℃
35CrMo	1680	12.6	50	840 油冷	200
42CrMo	1670	12.4	49	860 油冷	400
5CrNiMo	1360	14.4	46	850 油冷	550
35CrNiMo	1500	15.4	49	870 油冷	200
40CrNiMo	1480	10.2	47	850 油冷	400

此外，也有采用 30CrMnSiA、35CrMnSiA、45Cr 和 45 钢作为预应力圈材料的。

1. 装配方法

组合凹模的装配工艺是模具生产的重要环节，对于能否获得预期的过盈效果，具有

直接影响。内层凹模与预应力圈的压合有如下四种方法。

（1）热压配合　先将外圈加热到合适的温度，再套上内圈（各圈接合面无锥度），即利用热胀冷缩的原理使外圈在冷却以后将内圈包紧的方法，称为热压配合，亦称“红套”。这时加热温度不能超过钢的回火温度（一般回火温度为500～600℃）。选择的热膨胀变形要比所需的热膨胀变形大10%。当加热温度高于450℃时，必须采用某些防止氧化的措施。该方法的优点是凹模与预应力圈配合面均为圆柱面，加工容易。对于横向分割凹模，采用热压配合不会在剖分面上产生间隙。热压配合时，外圈的加热温度 t 可由下式计算：

$$t - t_1 = \frac{\Delta d + \delta}{d\beta} \tag{5-13}$$

式中　t——内层凹模的温度（℃）；

d——热压配合处的直径（mm）；

Δd——双向径向过盈量（mm）；

δ——热装前配合直径 d 处的间隙（mm），一般取 $\delta = 0.05 \sim 0.1$mm；

β——预应力圈材料的线胀系数（$℃^{-1}$）。

在热压过程中，预应力圈的温度始终不能低于由式（5-13）计算所得的温度，否则，在装配过程中，会产生“咬死”现象。此外，当预紧过盈量过大时，预应力圈的加热温度就可能高于回火温度。这就会使硬度降低，从而缩短模具的使用寿命。因此，仅适用于小过盈量的压合（如过盈量小于0.4%直径尺寸）。

（2）冷压配合　采用干冰或低温处理装置将内层凹模冷却，然后将外圈套在凹模上的方法，称为冷压配合。这时各圈接合面做成具有一定锥度的形状。压合在液压机上进行。这种方法不存在热压配合的缺点。但压合力很大，在压合时，应当在压力机外接上有机玻璃等挡板以保证人身安全。另外，由于冷却温度有一定限度，因此只适用于过盈量较小的情况，国内应用不多。

（3）室温压合　将各圈压合面做成具有一定锥度的形状，在液压机的压力作用下，使内、外圈压合的方法，称为室温压合。该法对预紧过盈量的大小没有限制，一取出凹模也比较方便，因此该方法得到了很广泛的应用。但压配部分的圆锥度加工精度要求较高，且当凹模尺寸较大或过盈量较大时，需用较大吨位的压力机。

室温压合的压合斜度 γ（见图5-40b、c）：一般采用 $\gamma = 1°30'$，最大不超过3°，否则在使用过程中会自动松脱。

压合时各圈的压合次序原则是由外向内，就是先将中层预应力圈压入外层预应力圈，最后将内层凹模压入中层预应力圈。压出的次序则相反，先压出凹模，再压出中圈。操作时，应使下垫板始终与凹模底面接触，不可脱空。压合后，由于凹模内腔直径有所缩小，因此，应对凹模内腔再次研磨修正，以保证所要求的尺寸精度。

各圈过盈配合处的径向过盈量是指各圈相应直径名义尺寸之差，一般在外径尺寸上做出。由于配合面处带有斜度，测量径向尺寸是比较困难的，因此，常把径向过盈量 Δd_2、Δd_3 换算为轴向压合量 c_2、c_3（见图5-40b、c），其计算公式为

$$c_2 = \frac{\frac{\Delta d_2}{2}}{\tan\gamma} = \frac{\Delta d_2}{2\tan 1°30'} \approx 19\Delta d_2 \tag{5-14}$$

同理可得

$$c_3 \approx 19\Delta d_3 \tag{5-15}$$

（4）加热和压力相结合的方法　它是采取加热的同时借助于压力进行装配的新方法，兼有加热的压力装配两者的特征。即明显减少装配压合力。当然这时，装配后的预紧力会有损失。但是，由于这时加热温度一般比较低，因此情况比单纯热压配合时要好，所以，它适于大型凹模和过盈量较大的硬质合金镶块模具。

以上四种装配方法的主要特征，列于表 5-10。

表 5-10　装配方法的特征

装配方法	原　　理	配合面形状	配 合 要 求	应 用 范 围
热压配合	热胀冷缩	圆柱面	1）过盈量小于配合直径的 4% 2）加热温度较高	1）单层预应力圈组合模 2）配合面为圆柱形 3）承载能力小
冷压配合		锥面	1）锥度为 1°～2° 2）锥面研配、密合 3）由外向内装配	承载能力大的工具钢模具
室温压合	室温加压			
加热-压力配合	加热 加压		1）锥度为 1°～3° 2）锥面研配、密合 3）加热温度为 350～450° 4）工具钢模具由外向内装配 5）硬质合金镶块模，由内向外装配	1）承载能力大 2）大型模具 3）硬质合金镶块模具

2. 装配顺序

凹模的装配顺序，根据镶块和预应力圈的材料、过盈量数值的大小和装配方法而定。它关系到装配质量、模具强度和寿命以及安全方面的问题。工具钢模具广泛采用由外向内依次压装的方法，见图 5-45a，室温压合时，亦按照这个顺序进行。硬质合金模具则用由内向外依次压装的方法，见图 5-45b，并在加热状态下进行。装配时内层预应力圈 2 与外层预应力圈 3 同时加热后，首先将凹模镶块 1 压入中层预应力圈，随后再将合件压入外层预应力圈。必须指出，如果压合次序颠倒，最后将凹模镶块压入外层预应力圈和内层预应力圈的合件内，则是相当困难的，甚至会损伤硬质合金凹模镶块。

3. 操作注意事项

为了提高模具的装配质量，在加工和装配过程中应精心操作，仔细检查，注意控制各环节中的质量因素。

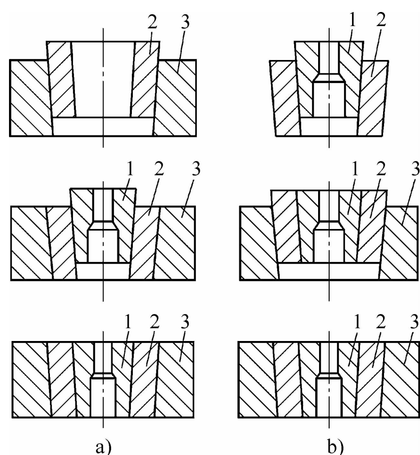


图 5-45　装配次序

a）由外向内依次压入　b）由内向外依次压入

1—凹模镶块　2—内层预应力圈　3—外层预应力圈

（1）压装前检查项目

1）压配合表面的表面粗糙度 Ra 在 0.8μm 以下。

2）配合锥面的锥度公差应尽可能小。

3）用锥圆器和红铅油检查锥面接触情况下，应保证接触面积不少于 3/4。

4）硬质合金凹模镶块外径的圆度误差控制在 0.005mm 以下。

5）过盈量的实际控制办法：在没加工预应力圈时测量凹模镶块 1 露出预应力圈 2 的高度 c，见图 5-46。这个高度也就是轴向压合量，可按式（5-14）计算。一般情况下，在凹模镶块压入接触平台后，仍露出 0.5 ~ 1mm，所以，实际露出高度应比理论计算的轴向压合量 A 要大，即 $c = A + (0.5 \sim 1)\text{mm}$。

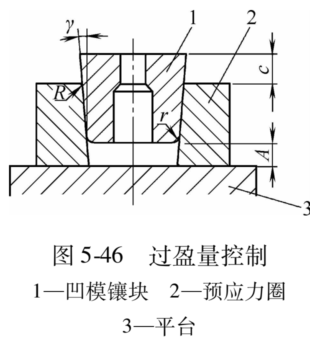


图 5-46　过盈量控制

1—凹模镶块　2—预应力圈

3—平台

6）按匹配的锥度和过盈量数值进行分组，分别组装。

7）检查工艺圆角 R、r，应圆滑无棱、无毛刺。

8）检查平台，不允许有污物、杂质，应光洁、平坦。

9）检查安全措施是否可靠，有否安全挡板或护栏。

10）检查压装零件是否洁净。

（2）操作要领　一般结构的凹模镶块预紧操作要领如图 5-47 所示。压装前，凹模镶块高度 H 及其露出预应力圈的高度 $A+1$，均大于预应力圈厚度 $H-1$ 和凹模镶块实际压入的深度 A，其差值均为 1mm。压装时，凹模镶块从锥孔大端压入，待凹模镶块小端与预应力圈底面齐平为止。冷却后，夹凹模外径，磨内孔、端面和外径，调头后以外径为基准，磨外径上前次装夹部分，最后平磨镶块露出预应力圈外部分的端面。

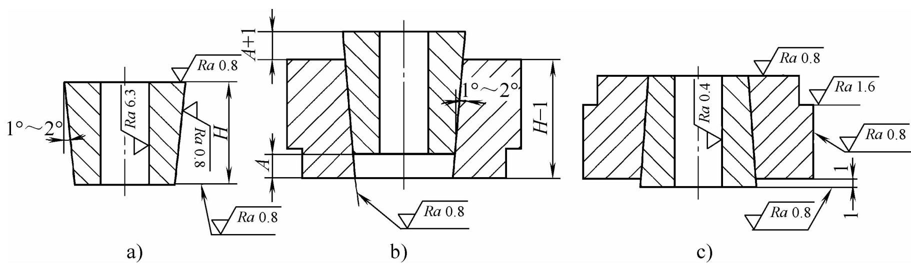


图 5-47　凹模镶块预紧操作要领

a）凹模镶块　b）凹模镶块与预应力圈的配合关系　c）加工后成品

对于剖分式凹模镶块，要把各部分凹模镶块准确地装在夹具上加工外径，然后用同一个夹具进行热压配合，以防止凹模镶块错位。图 5-48 所示是横向分割凹模的夹具和装配方法。这时凹模镶块内径已经粗加工完毕，并对其结合面进行充分研配，然后用夹具导向把两个凹模镶块紧固起来。加热装配时，紧固在一起的两部分，利用钢丝绳吊装，平稳、自由落入被加热的预应力圈中间，使其处于浮动状态，靠预应力圈冷却自然缩紧。压力装配时，只需将紧固在一起的两部分，顺锥度压入至接触平台为止。

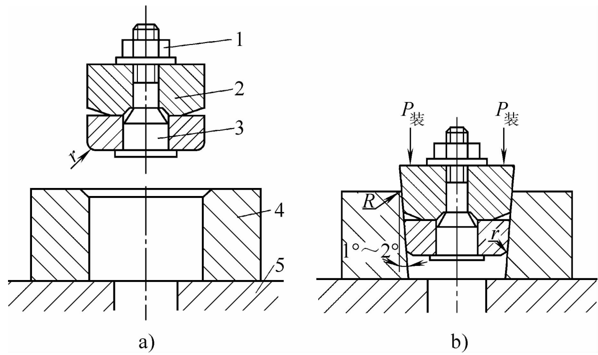


图 5-48　横向分割凹模的夹具和装配方法

a）加热装配　b）压力装配

1—紧固螺母　2—凹模镶块　3—紧固夹具　4—预应力圈　5—工作平台

为了便于压入和取换凹模镶块，压装前最好往凹模镶块表面或预应力圈内表面喷涂薄薄的一层二硫化钼，然后用碎纱布轻轻擦拭，在液压机上进行压装。这样可防止长期使用后压合面腐蚀生锈，在退凹模镶块时不产生粘着，以便使预应力圈能够多次反复使用。如果锥度过大或用油性润滑剂时，则在压入之后，凹模镶块可能会自行退出。

考虑到压装后模腔孔径的收缩，对于工具钢模具，一般都是在热压或冷压装配后进行磨削与精研孔径尺寸。但是对硬质合金凹模镶块模具，由于其收缩量很小，故在装配之前可将其孔径加工至成品尺寸，装配后用铸铁棒蘸研磨膏精研至要求尺寸。

5.6　模具的固定

正确的固定方法可保证模具零件在工作中经久耐用，牢靠稳定，如有损坏或需更换修理时，还有可以迅速而容易地更换和安装等优点。正确的固定方法对压力机使用、安全生产和产品质量，也有重要影响。

模具安装固定的基本要求如下：

1）凹凸模或上下模互相对正，且间隙均匀。

2）模具压力中心与压力机滑块中心线吻合。

3）闭合高度适当。

4）能顺利卸退料。

5）紧固可靠，模具在使用过程中毫无松动。

5.6.1　零件固定方法

1. 模柄固定

在小型压力机上，较多采用将模柄插入滑块的模柄孔中的方法，固定安装模具的上部分，见图5-49。这是中小型冷挤压模具中广泛采用的固定方法。它具有简单、实用、可靠等优点。设计时，取模柄1的外径与滑块3的中心孔尺寸 d 一致，模柄的长度 l_1 小于模柄孔深度 l_0，但必须保证 $l_1 > 1.5d$。

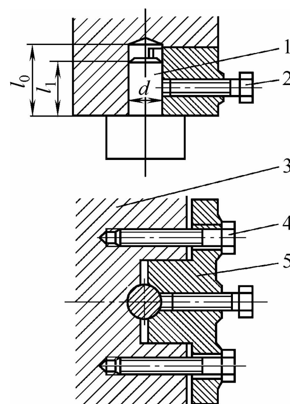


图5-49　模柄的固定方法

1—模柄　2—紧定螺栓　3—滑块　4—螺栓　5—压块

2. 模板固定

大型冷挤压模具的体积大，重量大，较少利用模柄固定模具的上部分。一般利用T形螺栓或压板将其固定在滑块上，见图5-50。图5-50a是在圆形模板上开设四个对称的槽口，在前后左右四个方向上紧固。图5-50b常用于矩形模板的固定。它在模板前后两个方向开槽，槽口位置和尺寸应与滑块底面上的纵向T形槽吻合一致。图5-50c是利用压板固定上模板的结构形式。这种紧固方法只有在模板与T形槽的位置相干涉或不合适时使用。对于特大很重的上模板，应适当增加紧固螺栓的数目。

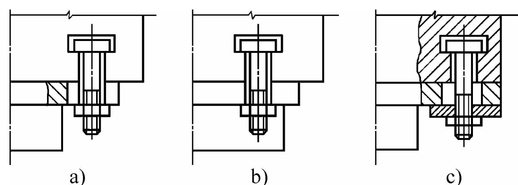


图5-50　模板的固定方法

3. 模座固定

冷挤压模具的下部分（简称模座）通常采用压板，利用 T 形螺栓将其紧固在工作台面上。图 5-51 所示是最常用的固定方法。图 5-51a 是最常见的利用平压板和矩形垫块紧固模座的基本形式；图 5-51b 则将垫块设计成梯形，以适用于不同厚度的模座，它具有通用性；图 5-51c 中不但将垫块做成梯形，压板亦带有梯形形状，这种锯齿形状的接触，增大了接触面积，可使压板平稳可靠。以上三种都是平压板结构形式。图 5-51d、e、f 所示则是利用 U 形压板紧固模座的结构形式，它结构简单，使用方便，常用于中小型模具和模座厚度不大的情况。

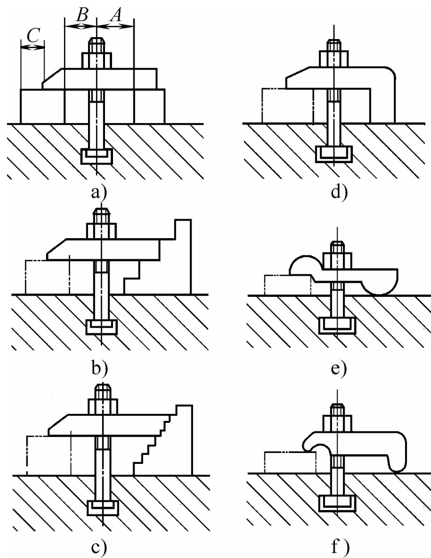


图 5-51　模座的固定方法

a)、b)、c）平压板法　d)、e)、f）U 形压板法

图 5-52 所示是直接利用螺栓紧固模座的方法。图 5-52a 和图 5-52b 利用螺栓和垫板上的螺纹孔，直接将模座紧固在压力机的工作垫板上。图 5-52c 和图 5-52d 则借助垫板上的 T 形孔，利用 T 形螺栓，将模座直接紧固在垫板上。以上四种方法中，均需要模座上开槽，见图 5-52a、b、c，或钻出沉孔，见图 5-52b，图 5-52d 是在模座法兰边的圆周方向加工四个月牙形沟槽，使模座可在圆周方向进行调整。

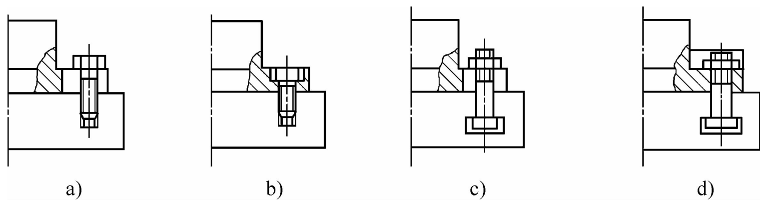


图 5-52　模座直接固定法

a）利用垫板上的螺孔固紧　b）利用垫板上的螺孔固紧

c）利用垫板上的 T 形孔固紧　d）利用垫板上的 T 形孔固紧

4. 凹模固定

将凹模牢固、精确地固定在模座上，对确保挤压工作的正常进行和提高模具寿命十分重要。同时，合理的紧固方法，还可以使模具结构简化，便于安装、调整和更换零件。

常见的凹模紧固方法如图 5-53 所示。图 5-53a 是在模座侧壁上用螺钉直接顶紧的方法，对凹模进行固紧。当单位压力较大时，在工作中凹模往往容易松动，而使上下模的工作位置发生偏移，因此，它只适于单位挤压力较小的有色金属的挤压模具。图5-53b

是用螺栓和销钉将凹模直接固定在模座上。这种方法与冲压模具凹模的固定方法相似，虽然牢固可靠，但是更换凹模很不方便。在凹模的压套上钻孔，还会大大削弱模具强度，甚至引起模具开裂破坏。因此，冷挤压凹模采用这种方法紧固，显然是不理想的。图 5-53c 是用四个螺栓通过圆形压板将凹模紧固在模座上。这种方法固紧力大，且牢固可靠，是冷挤压模中广泛采用的一种方法。横向分割的组合凹模用此法紧固，可以在模具分割的圆环形接触面上造成足够大的贴紧力，防止金属挤入分割面间。图 5-53d 是用特制圆形螺母紧固凹模的。这种方法的优点是简单、实用，并且可靠，装卸、更换也十分便利，是中小型模具广泛采用的一种紧固方法。但是，由于挤压变形需要和模具结构的不同，凹模的紧固方式是千变万化的。图 5-54 所示的两种紧固方式，虽然都是采用压板紧固凹模，但是在结构设计上却另具特色。图 5-54a 压板 2 除具有紧固作用之外，还起到模座衬套和相互配合的作用，成为凹模 1 与模座 4 之间重要的过渡和配合零件。图 5-54b 压板设计成带有一部分工作型腔的复杂结构，主要是考虑装料和导向的需要。这样可简化凹模结构，减小凹模的厚度。由此可见，这种压板具有紧固、导向和装料等多种功能作用。此外，对于面积较大、重量较大的凹模，考虑到调整问题，通常将模座孔设计得比凹模大，即在模座同凹模间具有一定的缝隙。这样，在调整凹模位置时，可以不必移动模座。采取这种结构形式时，一般采用双向紧固的方法，如图 5-55 所示，即除采取正常的压板 2 对凹模 3 轴向紧固外，还在模座 5 的侧壁上安装微调凹模水平位置的紧定螺钉 4。调整时，松开压板上的紧固螺栓 1，旋动紧定螺钉对凹模进行微调，调后旋紧紧定螺钉后，再将压板上的螺栓拧紧。

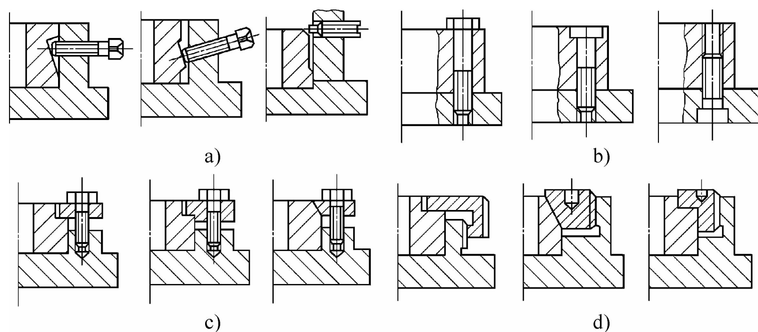


图 5-53　凹模的紧固方法

a）螺钉紧固　b）螺栓紧固　c）压板紧固　d）特形螺母紧固

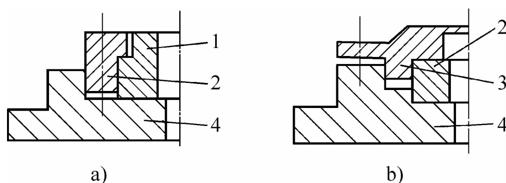


图 5-54　压板的特殊结构形式

1—凹模　2—压板　3—特殊压板　4—模座

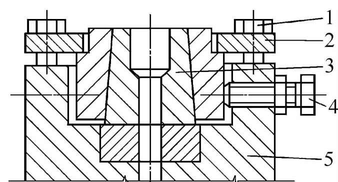


图 5-55　凹模的双向紧固法

1—螺栓　2—压板　3—凹模

4—紧定螺钉　5—模座

5. 凸模固定

常见的凸模紧固方法如图 5-56 所示。图 5-62a 是利用螺栓将凸模 4 和垫块 2 直接紧固在模板 1 上。图 5-56b 和图 5-56c 是利用特殊的圆形内螺母 6 和圆形外螺母 7，从模柄 5 的外部和内部，将凸模紧固于模柄孔中。图 5-56d 是利用压板 8 紧固凸模的结构形式。上述紧固方法与凹模的紧固方法相似。

利用螺栓或螺钉紧固凸模的几种结构形式如图 5-57 所示。图 5-57a 是用紧定螺钉 2 将凸模 3 紧固在模柄 1 中。这种方法只适用在单位压力较小的有色金属的挤压模具上。图 5-57b 是将螺栓直接拧进凸模的柄部进行紧固。这种直接紧固，即一级紧固的方法，虽然结构简单，但是浪费模具材料，是很不经济的，也较少采用。图 5-57c 则是利用中间压圈 6 间接紧固凸模的方法，即为二级紧固。而图 5-57d 和图 5-57e 就是三级和多级利用螺栓依次紧固的方法。利用螺栓紧固的方法，虽然牢固可靠，但是在更换凸模时，

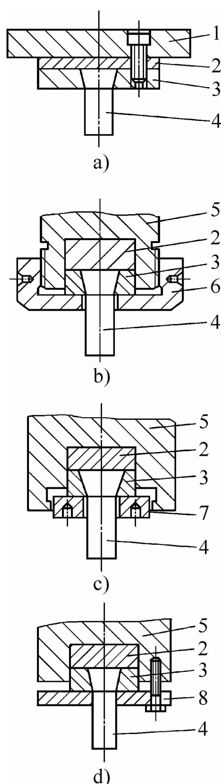


图 5-56　凸模的紧固方法

a）螺栓紧固　b）外特形螺母紧固

c）内特形螺母紧固　d）压板紧固

1—模板　2—垫块　3—压圈　4—凸模　5—模柄

6—圆形内螺母　7—圆形外螺母　8—压板

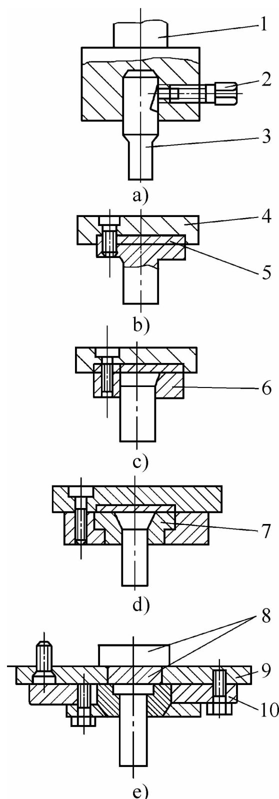


图 5-57　螺栓紧固的结构形式

a）紧定螺钉紧固　b）螺栓直接紧固

c）螺栓间接紧固　d）螺栓多级紧固

e）螺栓多级紧固

1—模柄　2—紧定螺钉　3—凸模　4—模板

5、8—垫块　6—压圈　7—衬套　9、10—压板

需卸下模板，很不方便。利用压板和特制圆形螺母紧固凸模，是广泛采用的紧固方法，适用于各类中小型挤压模具。

图 5-58 所示圆柱形的直杆凸模 4，可以采用弹性夹头 1、压圈 2 和特形螺母 3 紧固。这种方法，装卸、更换凸模时，十分方便。然而，弹性夹头对凸模的夹紧力，远不及螺栓的紧固力量，卸料力较大及频繁的振动，易使凸模松动，甚至会自行脱落。因此，在使用过程中，应注意并防止螺母松动。

图 5-59 所示下凸模为直杆结构时，可以采取半圆卡销 3 和套圈 4，通过压圈 2 紧固。这种紧固方法不会因切槽而影响凸模的强度和寿命，可以简化凸模的结构和制造工艺，是一种比较新颖的固定方法。

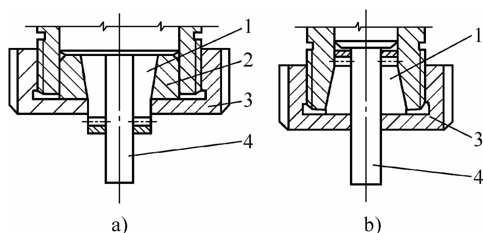


图 5-58　弹性夹头紧固

a）间接紧固　b）直接紧固

1—弹性夹头　2—压圈　3—特形螺母　4—凸模

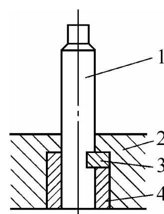


图 5-59　卡销紧固形式

1—下凸模　2—压圈

3—卡销　4—套圈

5.6.2　紧固零件设计

1. 压板和垫块

图 5-60 所示是用于模座固定的两种常用的平压板（见图 5-60a）和 U 形压板（见图 5-60b），其结构尺寸列于表 5-11 和表 5-12。

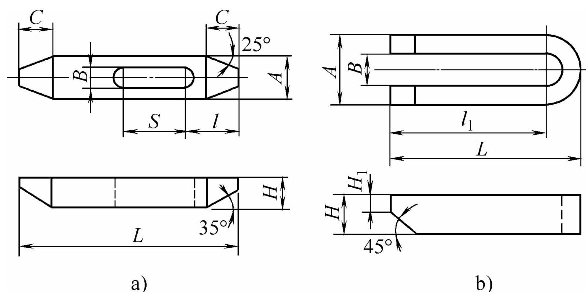


图 5-60　压板

a）平压板　b）U 形压板

垫块（参见图 5-51）通常为方形、矩形或带有齿形的阶梯形状。为了保持紧固时压紧力量均衡和压板不倾斜，垫块必须与模座等厚，且两接触面平行，一般选用普通碳钢制作。

表 5-11　平压板结构尺寸　（单位：mm）

螺栓直径	*B*	*H*	*A*	*C*	*L*	*S*	*l*
M10	11	12 ~ 20	25	14	60 ~ 150	20 ~ 50	20 ~ 30
M12	14	14 ~ 20	30	16	60 ~ 150	20 ~ 50	20 ~ 30
M16	17. 5	16 ~ 20	34	16	60 ~ 150	10 ~ 50	25 ~ 32
M20	21	20 ~ 25	40	22	100 ~ 200	30 ~ 55	32 ~ 42

表 5-12　U 形压板结构尺寸　（单位：mm）

<table>
<tr><th>螺栓直径</th><th>L</th><th>A</th><th>H</th><th>B</th><th>H1</th><th>l1</th></tr>
<tr><td rowspan="2">M12</td><td>100</td><td rowspan="2">38</td><td>22</td><td rowspan="3">14</td><td>8</td><td>81</td></tr>
<tr><td>125</td><td rowspan="3">30</td><td rowspan="4">10</td><td>106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">M16</td><td rowspan="2">150</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">125</td></tr>
<tr><td>18</td></tr>
<tr><td>M20</td><td>60</td><td>60</td><td>36</td><td>22</td><td>170</td></tr>
</table>

2. 螺栓和螺母

T 形螺栓是模座、模板紧固的常用螺栓。其头部尺寸，比压力机上 T 形槽尺寸略小 1 ~ 3mm，间隙太大时，头部与 T 形槽的接触面积小，容易压坏。T 形螺栓一般采用 45 钢锻制，加工精度为 g6 级，螺纹表面粗糙度 *Ra* 为 3. 2μm。

一般情况下，紧固模座用六角螺母（GB/T 56—1988），精度为 H6 级。

3. 特形螺母

图 5-61 所示是用于紧固凸、凹模的特形螺母。图 5-61a、b 所示为应用最广泛的两种结构形式，它与模座或模柄的外螺纹配合并旋紧，用以固定凸、凹模。图 5-61c、d 所示螺母则靠其外螺纹与模座或模柄孔配合并旋紧，用以紧固凸、凹模。从结构分析来

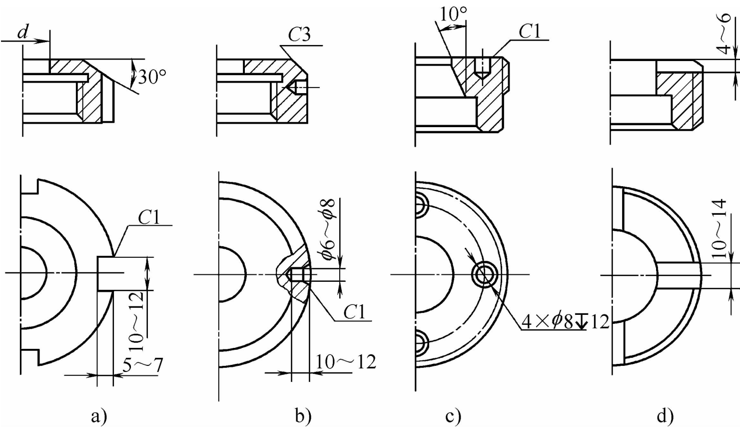


图 5-61　特形螺母

看，后两种较为紧凑，但没有前两种使用方便。

4. 弹性夹头

图 5-62 所示是用于圆柱形直杆凸模紧固的弹性夹头。弹性夹头必须具有较高的综合力学性能，材料为优质碳素钢 T10A，热处理硬度为 54～58HRC，加工精度为 IT7 级，表面粗糙度 Ra 为 0.8μm。设计时，夹头的孔径 d，取作与凸模的名义尺寸一致，按 7 级精度第一种间隙配合制造。

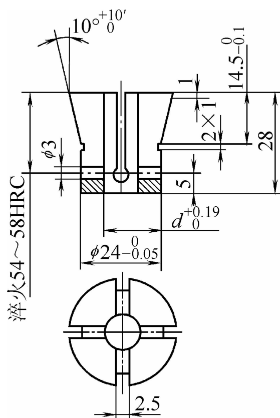


图 5-62　弹性夹头

5.7　模具的配合要求

冷挤压模具零件之间的配合性质，随模具的结构特点、复杂程度、受力情况、功能作用及使用要求不同而不同。但是，一般情况下，大部分零件之间的配合要求还是一致的。

图 5-63 表示出了两种类型挤压模具的主要配合部位。这些部位是：①凸模和压板 A；②压板与模柄（模板）B；③凹模与模座 C；④模板与模座 D。四个部位若有一处配合不正常，也无法保证和达到挤压件的精度要求。各部位配合良好的模具，尽管反复多次拆卸，其配合精度都应保持一致和没有变化。为了介绍方便，可将上述部位概括为部件和零件配合两大类。

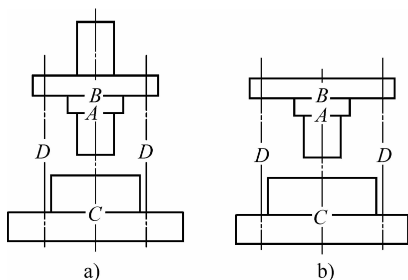


图 5-63　冷挤压模具的主要配合部位
a）带模柄模具　b）带导柱模具

5.7.1　部件配合要求

1. 模柄部件

图 5-64 所示模柄部件是冷挤压模具中最常见的两种结构形式。图 5-64a 所示模柄孔中，安装垫块 2 和固定凸模 4 的固定圈 3，所以模柄 1 与这两个零件之间具有配合关系。

图 5-64b 所示模柄供安装上打杆打料时使用。在模柄中，安装了打杆 5、打料杆 6 和上模 7。上述安装零件与模柄的配合关系，列于表 5-13。

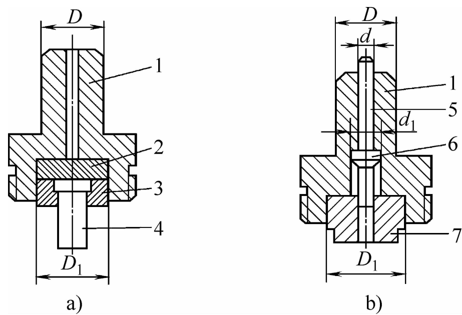


图 5-64　模柄部件中的配合

a）一般模柄部件　b）带打料装置的模柄部件

1—模柄　2—垫块　3—固定圈　4—凸模　5—打杆　6—打料杆　7—上模

表 5-13　模柄部件的配合要求

配合零件名称	配合部位	配合性质		加工要求
		孔	轴	
模柄 1	D		d11	半精加工 $Ra=1.6\mu m$
垫块 2	D_1	H7	js6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
固定圈 3	D_1	H8	h9	半精加工 $Ra=1.6\mu m$
打杆 5	d	H10	c12	半精加工 $Ra=12.5\mu m$
打料杆 6	d_1	H8	h9	半精加工 $Ra=1.6\mu m$
上模 7	D_1	H7	h6	精加工 $Ra=0.8\mu m$

当模柄部件为组合结构时，其配合关系如图 5-65 所示。

2. 导柱部件

导柱和导套及与其关联的模座和模板，称为导柱部件。它们之间的配合关系和加工要求，如图 5-66 所示。由该图看出，导柱与模座、导套与模板，采用 7 级精度第 5 种过盈配合，导柱与导套为 7 级精度第 1 种间隙配合，配合部位精加工，表面粗糙度 Ra 要求在 $0.8\mu m$ 以下。

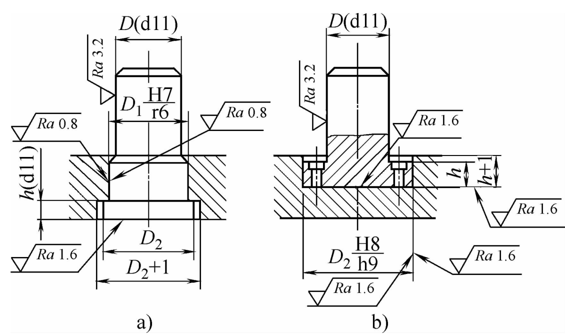


图 5-65　组合模柄的配合关系

a）压入式　b）凸缘式

3. 模座部件

冷挤压模具的下模部分，亦称

模座部件，见图 5-67。在模座 5 中安放着凹模 1、顶料杆 2、支承 3、垫块 4 和顶杆 6 等工作零件。这些零件与模座的配合要求，列于表 5-14。

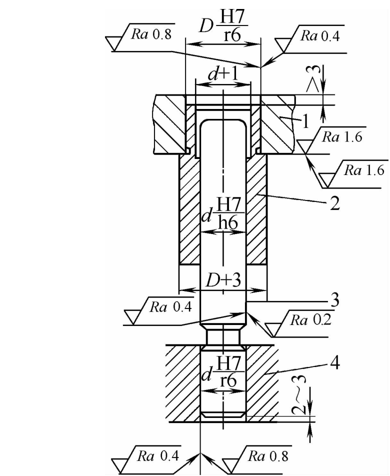


图 5-66　导柱部位配合关系

1—模板　2—导套　3—导柱　4—模座

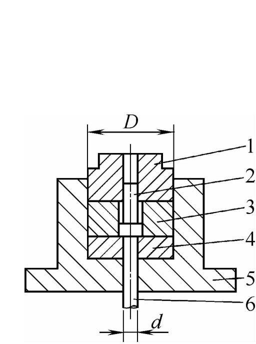


图 5-67　模座部件

1—凹模　2—顶料杆　3—支承　4—垫块　5—模座　6—顶杆

表 5-14　模座部件的配合要求

配合零件名称	配合部位	配合性质		加工要求
		孔	轴	
凹模 1	D	H7	h6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
支承 3		H8	h8	半精加工 $Ra=1.6\mu m$
垫块 4		H8	f9	半精加工 $Ra=1.6\mu m$
顶杆 6	d	H10	c12	精加工 $Ra=6.3\mu m$

5.7.2　凸、凹模配合要求

1. 凸模组合件

凸模通常利用固定圈将其紧固在模柄孔中或模板上。对于分割形式的组合凸模，通常利用凸模的加强外套进行紧固。图 5-68 所示是凸模组合件最常用的两种紧固形式。

若模具设有卸料装置时，凸模与环形顶出套和卸料板之间的配合关系，如图 5-69 ~ 图 5-71 所示。当凸模与卸料装置之间互相配合时，应采取较高精度并进行精加工。当卸料装置与凹模配合时，它与凸模之间可放置一定的间隙。因此，凸模与卸料装置因配合性质的不同，存在两种配合关系。

凸模与固定圈、凸模套、环形顶出套和卸料板之间的配合性质和加工要求，列于表 5-15 中。

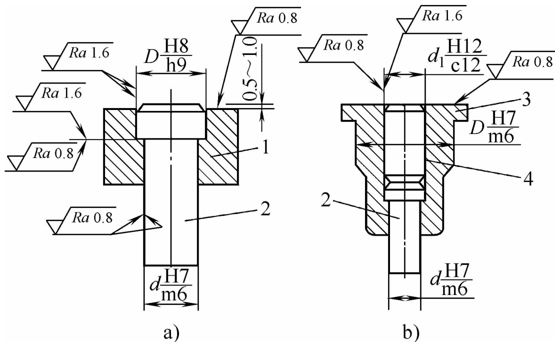


图 5-68　凸模组合件的配合关系

a）固定圈紧固形式　b）凸模套紧固形式

1—固定圈　2—凸模　3—凸模套　4—柱销

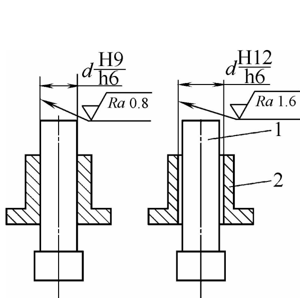


图 5-69　下凸模-环形顶出套

1—下凸模　2—环形顶出套

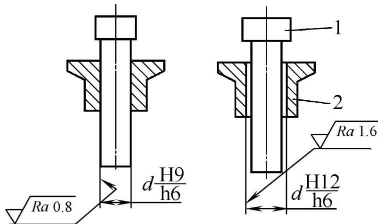


图 5-70　上凸模-环形顶出套

1—上凸模　2—环形顶出套

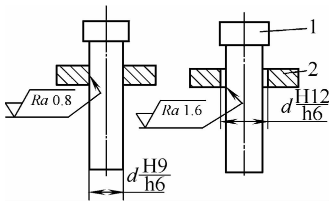


图 5-71　凸模-卸料板组合件

1—凸模　2—卸料板

表 5-15　凸模合件间的配合关系

配合零件名称	配 合 形 式		配 合 性 质		加 工 要 求
			孔	轴	
凸模-固定圈	压圈紧固	装配部分	H8	h8	半精加工 $Ra=1.6\mu m$
		配合部分	H7	m6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
凸模-凸模套	凸模套紧固	装配部分	H10	c12	半精加工 $Ra=1.6\sim3.2\mu m$
		配合部分	H7	m6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
凸模-环形顶出套	间隙配合		H9	h6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
	间隙配合		H12	h6	半精加工 $Ra=1.6\mu m$
凸模、卸料板	间隙配合		H9	h6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
	间隙配合		H12	h6	半精加工 $Ra=1.6\mu m$

2. 凹模组合件

与凹模配合的工作零件是指顶料杆和环形顶出套。所以在凹模合件中，只涉及两种零件之间的配合关系，其配合性质和加工要求，列于表5-16中。

表 5-16　凹模合件中的配合关系

配合零件名称	结构略图	配合性质		加工要求
		孔	轴	
凹模 1、4—顶料杆 2、3		H7	h6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
凹模 1—环形顶出套 3		H7	h6	精加工 $Ra=0.8\mu m$
		H7	h9	半精加工 $Ra=1.6\mu m$

5.7.3　零件加工要求

表 5-17 列出了冷挤压模主要零件位的加工要求。

表 5-17　冷挤压模主要零件的加工要求

零件名称	加工部位	零件简图	加工要求
模板	导套孔 d		H7，$Ra=0.8\mu m$
	嵌垫块和凸模的孔 D_1		H8，$Ra=1.6\sim0.8\mu m$
	工作面 C		平行度误差不大于 0.05mm（模座 0.02mm），$Ra=1.6\mu m$
	螺钉孔 d_1		H10，$Ra=12.5\mu m$

（续）

零件名称	加 工 部 位	零 件 简 图	加 工 要 求
模座	嵌凹模的孔 D_2		H8，$Ra=0.8\sim1.6\mu m$
	顶料杆孔 d_2		H8，$Ra=1.6\mu m$
	导柱孔 d_3		H7，$Ra=0.8\mu m$
	螺钉孔 d_4		H10，$Ra=12.5\mu m$
固定销	工作直径 d		h6，$Ra=0.8\mu m$
	长度 L_1、L_2		IT12，$Ra=12.5\mu m$
导套	内径 d		H7，$Ra=0.4\sim0.8\mu m$
	外径 D		r6，$Ra=0.8\mu m$
	端面 L_2、L		IT12，$Ra=6.3\mu m$
导柱	压入直径 d_1		r6，$Ra=0.8\mu m$
	工作直径 d		h6，$Ra=0.4\mu m$
	长度 L_1、L_2、L		IT12，$Ra=6.3\mu m$
凹模	孔径 d		H6 ~ H7，$Ra=0.4\sim0.8\mu m$
	外径 D		h7，$Ra=0.8\mu m$
	高度 h		IT12，$Ra=0.8\sim1.6\mu m$
凸模	工作直径 d		h6，$Ra=0.4\mu m$
	颈部 D_1		m6，$Ra=0.8\mu m$
	凸肩 D_2		IT12，$Ra=12.5\mu m$

（续）

零件名称	加 工 部 位	零 件 简 图	加 工 要 求
凸模固定圈	凸模配合孔 d		H7，$Ra=0.8\sim1.6\mu m$
	外径 D		h8，$Ra=1.6\mu m$
	螺钉孔 d_1、d_2		H10，$Ra=12.5\mu m$
	厚度 h		IT12，$Ra=6.3\mu m$
环形顶出套	孔径 d		H8，$Ra=0.8\sim1.6\mu m$
	配合外径 D		h8，$Ra=0.8\sim1.6\mu m$
	凸缘直径 D_1		IT12，$Ra=6.3\sim12.5\mu m$
顶杆	工作直径 d		d6，$Ra=1.6\mu m$
	凸肩直径 D		IT12，$Ra=6.3\mu m$

第 6 章　冷成形工艺

经历了长时期的冷挤压生产实践，随着模具材质及加工工艺不断提高、设备吨位不断上升，再有毛坯软化处理技术逐渐更新，使冷挤压成形的能力及应用进一步扩大。国内外都在这方面进行了深入的研究，冷挤压成形技术作为一种零件生产制造技术，尤其在汽车、机械、轻工、仪器及五金等行业生产中，已向高质量、高精度、高效率、低消耗及绿色制造技术发展。因此，冷锻技术作为一门应用技术科学已基本形成。广义来说，所谓冷锻即是一种冷塑性变形的总称，又俗称冷成形，包括冷模锻、冷挤压、冷镦、冷压印等。

根据所用的设备来命名工艺，除了采用常规设备（液压机、机械压力机等）的冷成形工艺以外，目前冷成形工艺还有：

（1）冷摆辗法　毛坯是在摆辗机上冷成形制得的。

（2）冷辊锻法　毛坯是在辊锻机上冷成形制得的。

（3）冷楔横轧法　毛坯是在楔横轧机上冷成形制得的。

（4）闭塞冷模锻法　毛坯在双动液压机上进行闭塞冷模锻。

6.1　冷模锻

1. 冷模锻工艺的实质及零件分类

按照工程上的习惯说法，冷模锻就是冷体积塑性成形，是在冷态条件下的金属塑性加工，或者说是在室温条件下，利用安装在设备上的模具使已软化的金属毛坯压缩成形为所需的形状及尺寸零件。

工艺名称“室温”或“冷态”只是习惯上的说法，是对应热锻必须把毛坯加热后进行锻造而言的。这里“冷态”实际上是指再结晶温度以下。严格地说，冷锻是指在金属的再结晶温度以下进行的各种体积成形。表 6-1 是一些金属的最低再结晶温度。由表 6-1 可见，即使在室温下，对铅、锡的成形加工都不能称为冷锻，而是热锻了。

表 6-1　一些金属的再结晶温度

金　属	最低再结晶温度/℃	金　属	最低再结晶温度/℃
铁和铜	360 ~ 450	锡	0
铜	200 ~ 270	铅	0
铝	100 ~ 150		

从变形形式来分析，冷模锻是挤压和局部镦锻结合在一起的塑性成形加工方法，可获得很复杂形状的零件，如各种带凸缘、法兰的短轴类零件，还有长轴类形状复杂的异

形零件，如弯钩拉臂、双头呆扳手、踏板小杠杆等。

冷模锻方法发展到目前可分为如下三个阶段。

第一阶段为分序冷模锻法。毛坯冷模锻一次退火一次，再冷模锻一次再退火一次。用两台以上冷模锻设备，分别把各工序的模具按顺序装在设备上，按次序进行冷模锻工艺，适用于大型零件。

第二阶段为多工位冷模锻法。从一工位传向下一工位，不用中间退火。在一台冷模锻设备上装有数道工位模具，用卷材、棒材或板材进行冷模锻，适用于小型零件。

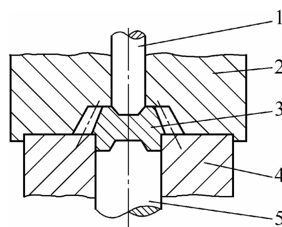


图 6-1　闭塞冷模锻的工作原理
1、5—上、下顶杆镶块　2、4—上、下凹模　3—冷锻件

第三阶段为单工位多动作冷模锻法（又称闭塞冷模锻）。它是在一台专用的双动液压机上进行闭塞冷模锻工艺，工作原理如图 6-1 所示。毛坯放在下凹模内，先将上凹模往下移动，并使上、下模闭合，然后上、下顶杆镶块进行冷模锻，可制成各种带齿类型的齿轮类零件等。

国际冷锻协会在 20 世纪 70 年代推荐了适宜冷锻的零件代表性形状。图 6-2 所示为适宜冷锻的轴类零件，图 6-3 所示为适宜冷锻的空心零件。由两图可见，有些属于冷挤压件，有些属于冷镦件及冷模锻件。从零件的结构工艺性来看，与前面所述的冷挤压件分析一样，此处不再重述。

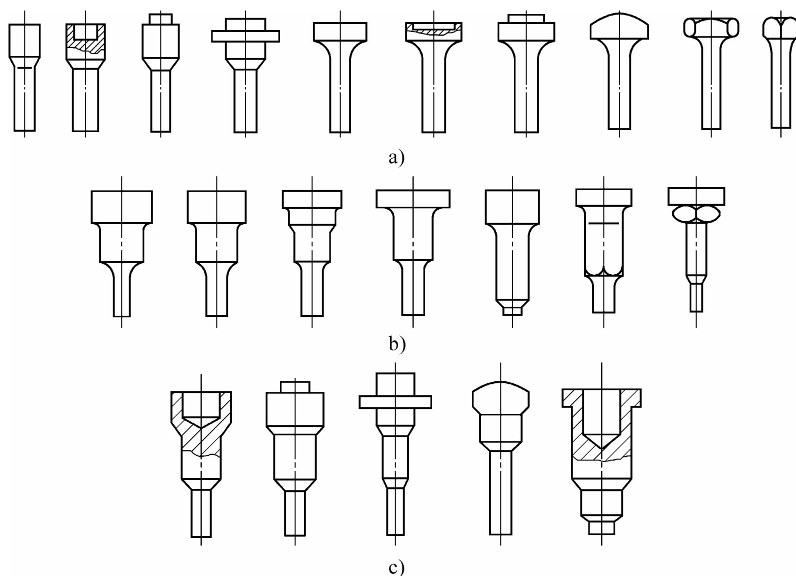


图 6-2　适宜冷锻的轴类零件
a）各种头部形状的轴对称零件　b）各种阶梯形状的轴对称零件
c）头部成形杆部阶梯的轴对称零件

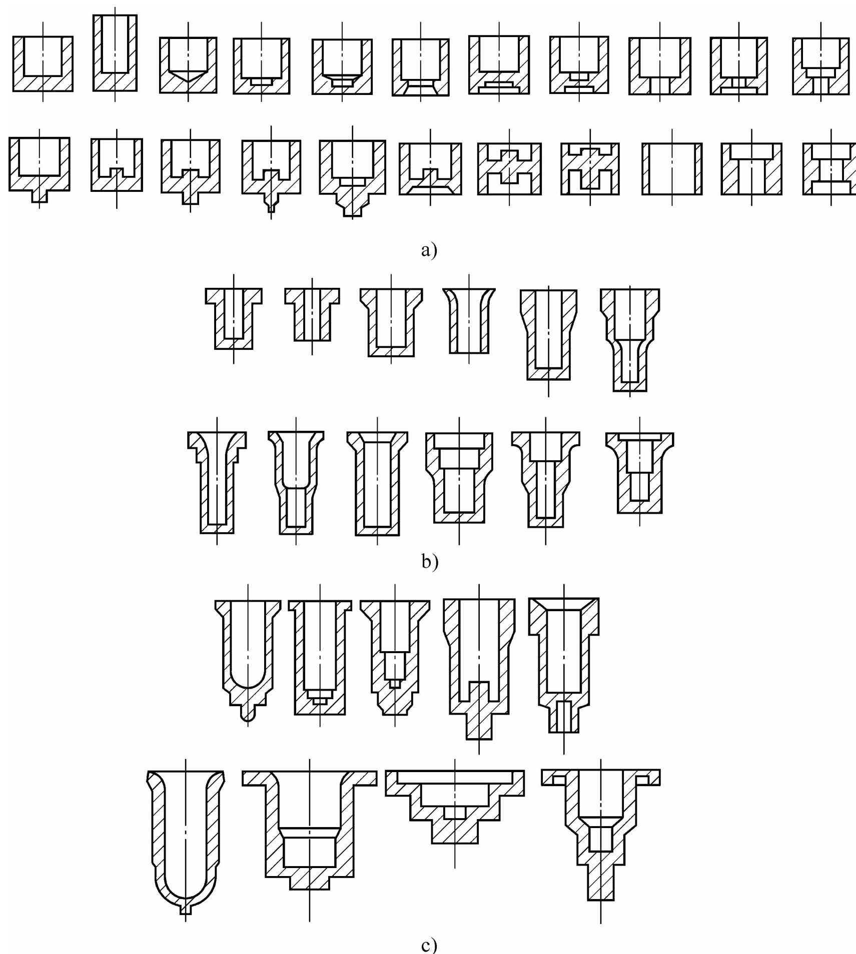


图 6-3　适宜冷锻的空心零件

a）轴对称空心件（一部分中间有凸起或凹坑）　b）阶梯形空心件（一部分还另有底孔）　c）有阶梯形及中心部位有凸起的轴对称空心件

2. 冷模锻工艺的应用

根据零件形状及金属变形特点，下面分别介绍实际生产中冷模锻工艺的应用现状。

（1）法兰轴套类　法兰轴套类零件是指有不通孔的轴类或不通孔的法兰零件，由于轴或法兰与内孔壁厚的尺寸比例关系，主要采用如下两种方法：

1）分序冷模锻法。德国 GKN 公司汽车内花键轴套的毛坯尺寸为 ϕ55mm × 95mm，材料为 20Cr。在 4000kN、3500kN 及 7500kN 三台冷挤压机上分三道工序完成冷模锻工艺，其工艺流程见图 6-4。为了改善冷塑性变形的情况，在镦粗工序（见图 6-4c）与正反挤压工序（见图 6-4d）之间需增加一道中间退火工序。生产率为 600 件/h，模具寿命已达 5 万次以上。

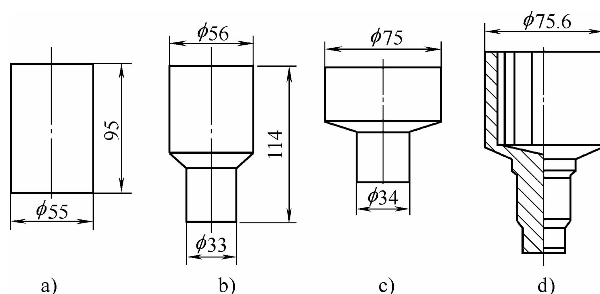


图 6-4　内花键轴套冷模锻工艺流程

a）下料　b）挤压套端　c）镦粗　d）正反复合挤压

2）冷摆辗法。日本液压装备法兰端盖（见图 6-5）的毛坯尺寸为 ϕ20mm × 51.5mm，材料为 25 钢。在日本森铁工株式会社制造的一台 2500kN 冷摆辗机上进行冷摆辗工艺，摆辗成形时间为 6s，压力表上指出的摆辗成形压力为 1800kN。

（2）齿轮类　这类零件是汽车、摩托车等工业中量大面广的重要零件，过去采用的加工方法有两种：①锻成齿坯再机械加工成所需的齿形，缺点是材料利用率低，机械加工工时长，齿轮零件寿命短（齿形纤维被切断）；②热锻成带齿的齿轮，在齿形上所留的磨削余量通过后道的磨削加工来解决，该方法比前一种工艺有所改进，但必须还有一道费时的齿形磨削加工，才能获得制件。

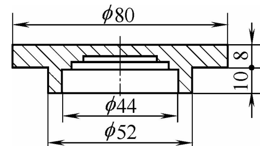


图 6-5　法兰端盖冷摆辗件

根据不同的冷锻设备，目前采用如下四种方法：

1）分序冷模锻法。德国汽车行星齿轮的毛坯尺寸为 ϕ35mm × 50mm，材料为 15CrNi 合金结构钢。在三台冷挤压力机上分工序完成冷模锻工艺，其工艺流程如图 6-6 所示。

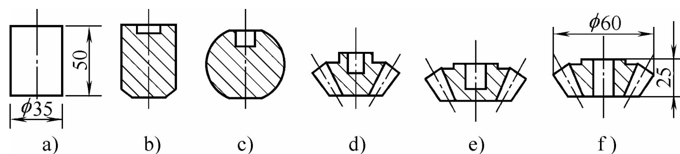


图 6-6　行星齿轮冷模锻工艺流程

a）下料　b）反挤压局部内孔　c）镦粗　d）预锻

e）终锻　f）冲孔连皮及切边

2）闭塞冷模锻法。日本汽车后桥差动行星齿轮（见图 6-7）的毛坯尺寸为 ϕ48mm ×32mm，材料为 15CrMo 合金结构钢。在日本森铁工株式会社制造的一台 10000kN 冷模锻双动液压机上单工序完成闭塞冷模锻工艺。

3）冷摆辗法。瑞士汽车公司行星齿轮（见图 6-8）的毛坯尺寸为 ϕ36mm × 24mm，

材料为 15CrMo 合金结构钢。在瑞士史密特公司制造的一台 2000kN 冷摆辗机上进行冷摆辗工艺，摆辗成形时间为 8s，压力表上指出的摆辗成形压力为 1500kN。

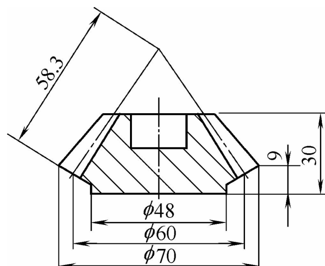


图 6-7　行星齿轮闭塞冷模锻件

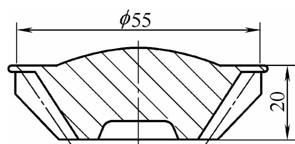


图 6-8　行星齿轮冷摆辗件

4）高速挤压法。国内外资料及有关试验指出，要制成直齿齿面的精密形状，必须采用较高的变形速度才能挤压成形。因为较高的变形速度可提高金属塑性的变形程度，原因有二：一是变形速度大于冷加工硬化速度，致使材料可继续进行塑性变形，不会破裂；二是金属与模具型腔之间的摩擦因数随变形速度提高而下降，使金属流动速度加快，易充填成形，同时也降低了变形抗力，还可减少变形的不均匀性。

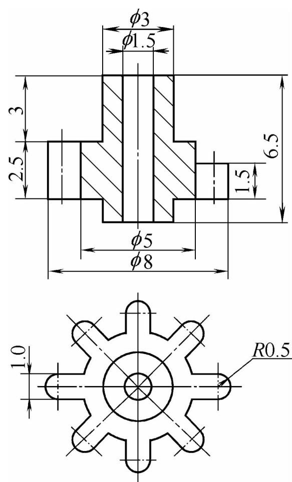


图 6-9　计数器齿轮零件

采用高速挤压如图 6-9 所示的计数器齿轮，材料为防锈铝合金 5A02。按其形状是属于轴对称零件，但在四周交叉均布高低不同的 8 个齿，4 个齿高 2. 5mm，4 个齿高 1. 5mm，形状十分复杂。过去，加工计数器齿轮的工艺是：用直径为 ϕ10mm 的铝合金圆棒进行车、钻、铣、插等金属切削加工方法制得。这样不仅材料消耗多，加工工时长，而且零件强度也不高（齿形纤维被切断），现采用江苏海安百协锻锤有限公司制造的 CHK-25 型全液压模锻锤，其打击速度约为 6m/s（比机械冷挤压力机的速度大 3 倍以上），打击次数 93 次/min。

根据计数器齿轮零件图及冷模锻工艺的基本要求，经计算及制订出冷模锻件图，其形状及尺寸如图 6-10 所示。由图 6-10 可见，直齿齿轮外径 ϕ8mm 与圆轴直径 ϕ3mm 之间选定一尺寸作为毛坯的直径。这一尺寸既能满足许用变形程度的要求，又要用于毛坯在型腔中的定位。根据这一设计原则，经所需的体积计算，选定直径为 ϕ4. 8mm，毛坯长度为 4. 5mm。

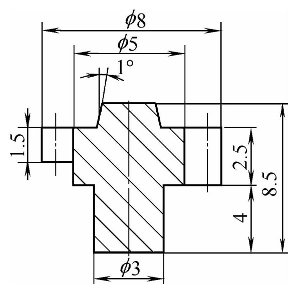


图 6-10　计数器齿轮冷模锻件

（3）凸缘轮毂类　各种类型的凸缘轮毂（见图 6-11）过去旧模锻工艺为：镦粗毛坯→预成形→终锻。现已改用

冷摆辗法进行生产。该方法不仅提高了零件的力学性能，而且可显著节约金属材料，更重要的是产品成本大幅度降低。

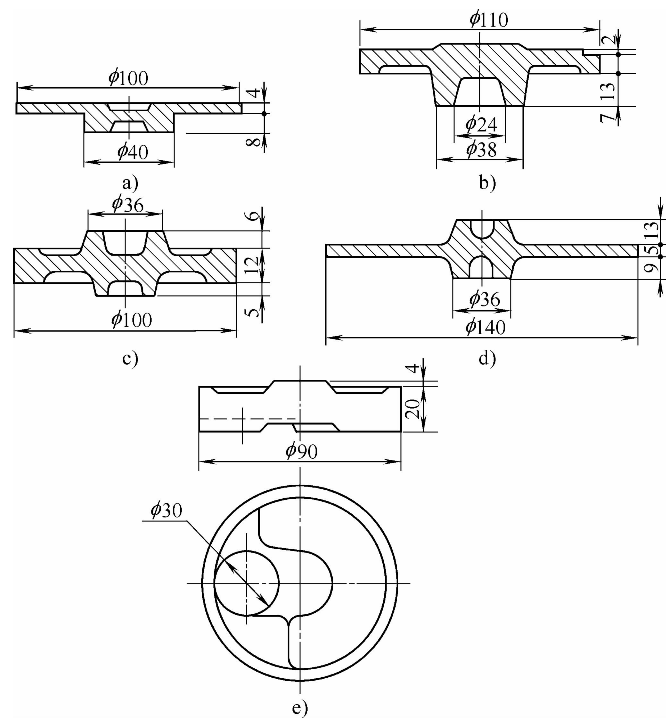


图 6-11　冷摆辗凸缘轮毂类零件

a）矮凸缘轮毂　b）高凸缘轮毂　c）双面凸缘轮毂　d）双面凸缘圆盘　e）曲柄

表 6-2 列出了典型的凸缘轮毂冷摆辗工艺的技术参数。

表 6-2　典型的凸缘轮毂冷摆辗工艺的技术参数

序号	零件			毛坯尺寸 /mm	技术参数		
	名称	形状	材料		成形时间 /s	摇头速度 /（r/min）	成形压力 /kN
1	矮凸缘轮毂	图 6-11a	15CrMo	$\phi62\times13$	6	300	2800
2	高凸缘轮毂	图 6-11b	15CrMo	$\phi80\times32$	7	300	3500
3	双面凸缘轮毂	图 6-11c	15CrMo	$\phi70\times26$	6	300	2500
4	双面凸缘圆盘	图 6-11d	45	$\phi75\times22$	8	230	6000
5	曲柄	图 6-11e	45	$\phi86\times21$	6	300	3000

（4）长轴类　这类零件的特点是主轴线方向的尺寸大于其他两个方向的尺寸。过去，加工这类零件采用普通模锻工艺，其过程是加热→除氧化皮→镦头→拔长→预锻→

终锻→切边。这种模式生产存在着工序多、流程长、质量差、损耗大、产量低等缺点。根据冷塑性变形的流动特点，国外都已改用冷模锻、冷辊锻、冷楔横轧等工艺进行生产，现介绍如下。

1）弯钩拉臂冷模锻。俄罗斯一家公司弯钩拉臂的材料改用 35 钢，在机械压力机上用板料进行冷模锻工艺，其工艺流程见图 6-12。

由图 6-12 可见，弯钩拉臂冷模锻通过专用送料机构布置在 10000kN 机械压力机上，完成精密下料、压扁、弯曲、模锻及切边 5 道工序。

2）两用扳手冷模锻。德国格拉彼涅尔公司两用扳手的材料改用 35 钢，在机械压力机上用板料进行冷模锻工艺，其工艺流程如图 6-13 所示。

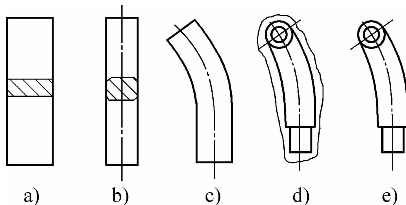


图 6-12　弯钩拉臂冷模锻工艺流程
a）精密下料　b）压扁　c）弯曲
d）模锻　e）切边

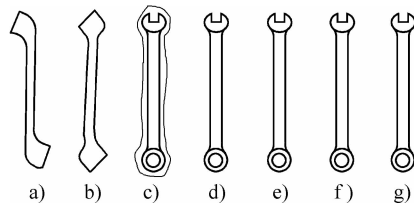


图 6-13　两用扳手冷模锻工艺流程
a）精密下料　b）弯曲头部　c）模锻　d）切边
e）冲孔　f）平面精压　g）精冲刃口

由图 6-13 可见，两用扳手冷模锻的 7 道工序通过专用送料机构分别布置在两台机械压力机上，即在 8000kN 机械压力机上完成精密下料、弯曲头部、模锻及切边四道工序，在 3600kN 机械压力机上完成冲孔、平面精压及精冲开口和梅花刃口三道工序。生产率为 1800 件/h，与旧工艺相比，产品成本可降低 40% ~50% 。

3）操纵杆冷辊锻。俄罗斯一家汽车制造厂的操纵杆材料为 20 钢，在一台加强型的双柱辊锻机上，采用专用冷辊锻模具材料及特殊热处理，根据所得的计算毛坯直径图选用合理的毛坯直径尺寸，通过两道冷预制坯辊锻和终成形辊锻，可得如图 6-14 所示的操纵杆辊锻件。

4）刮泥板主轴冷楔横轧。俄罗斯彼尔姆农机配件厂的刮泥板主轴材料为 35 钢，在一台 CA3438 型楔横轧机进行冷楔横轧工艺。图 6-15 所示为所制得的刮泥板主轴冷楔横轧件。

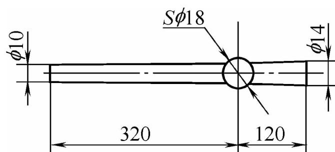


图 6-14　操纵杆冷辊锻件

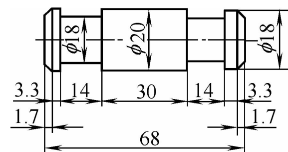


图 6-15　刮泥板主轴冷楔横轧件

3. 冷模锻工艺的优点

从国内外长期生产实践证明，用冷模锻工艺代替普通热模锻有如下优点：

（1）可以显著降低原材料的消耗　冷模锻技术是一种先进的金属塑性成形工艺，它在不破坏金属的前提下，使金属体积作出塑性转移，达到少无切屑而使金属成形的要求。金属零件如用热模锻方法制造，材料的利用率通常为 40% ~60%，而用冷模锻方法制造，材料利用率高达 80% ~95%。

（2）可以大幅度提高劳动生产率　冷模锻工艺是在机械压力机上进行的，压力机的一次行程同时可以完成多工序。因此，与多工序的热模锻工艺相比，生产率可以大幅度地提高。如俄罗斯冷模锻弯钩拉臂的生产率为 400 件/h，德国冷模锻两用扳手的生产率为 1800 件/h，美国多工位冷锻机用毛坯尺寸 ϕ70mm × 47mm（重量 1.4kg），冷模锻汽车轴套零件的生产率为 2100 件/h。

（3）可以加工成形复杂的零件　在压力机的往复直线动作下完成复杂的成形工序，并可以制成形状复杂的零件，效果特别显著。如图 6-16 所示的铝合金带直齿的轴套冷模锻件，外形复杂，尺寸小，要求严。如果不采用冷模锻方法制造就会感到十分困难，或增加很多工序，而冷模锻加工却十分方便。

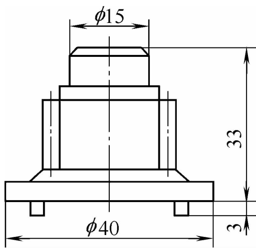


图 6-16　铝合金带直齿的轴套冷模锻件

（4）可以提高制件的力学性能　在冷模锻过程中，金属材料处于三向不等的压应力作用下，使金属材料的晶粒组织更加致密，金属流线不被切断，成为沿着零件轮廓连续分布的金属流线。同时，由于冷塑性成形利用了金属材料冷变形的冷作硬化特性，使冷模锻件的强度大大提高，从而提供了用低强度钢代替高强度钢的可能性。

（5）可以获得较高尺寸精度和较低表面粗糙度的零件　在冷塑性成形过程中，金属表面在高压下受到模具型腔光滑表面的熨平，零件的表面粗糙度很低（Ra = 0.1 ~ 0.2μm）。各种加工方法尺寸精度对比见表 6-3。

表 6-3　各种加工方法的尺寸精度对比

加工方法	公差等级（IT）											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
热模锻、热挤压								—	—	—	—	—
温挤压						—	—	—	—			
冷模锻				—	—	—	—					
研　磨	—	—	—	—								

（6）可以降低零件的制造成本　由于冷模锻工艺可以显著节省原材料和加工工时，所以大大降低了制件的生产成本。如两用扳手，可以用普通热模锻工艺，也可以用冷模锻工艺，后者的生产成本比前者降低了 40% ~50%。

4. 冷模锻工艺设计

在冷模锻成形时，因毛坯材料受体积压缩变形，与冷挤压工艺不同，所以工艺设计

时需考虑如下几点：

1）设备吨位大，这是由于冷模锻的变形抗力大。比如冷挤压时，单位挤压力达到毛坯材料抗拉强度的 4 ~6 倍甚至更高；变形程度更大，有的可达到 80% ~90%。

2）毛坯体积需要精确计算，尤其在闭式冷模锻成形时，毛坯体积必须等于模具型腔的体积，否则，将发生压力机闷车或模具损坏等事故。

3）模具材料要求更高，模具制造复杂，这是因为单位冷模锻力时常接近甚至超过现有模具材料的挤压抗拉强度。比如，冷挤压时的单位挤压力达 2500 ~3000MPa，冷模锻时有的已达 3500MPa。为此，除了选用较高强度的模具材料、较好的热处理工艺以及表面处理外，还应在模具结构上都要设计及制造二或三层的预应力圈组合凹模。

4）毛坯与冷挤压工艺的要求一样，都必须进行软化退火、表面磷化、皂化和润滑处理。

6.2　冷镦

冷镦是指金属毛坯在室温下受压后，高度方向尺寸减小，而垂直于压力方向的横截面尺寸增加的成形方法，如图 6-17 所示。虽然直径为 D_0 的毛坯很长，但参加变形的部分是 H_0 长度，在上模板与凹模间被压缩变形为直径 D、高度为 H 的工件头部。因此，冷镦的变形本质及特点与锻造工艺中的镦粗工序完全相同，其出现质量问题的原因及成形方法也应该与镦粗工序相同。

在变形的形式上，除了毛坯端部进行冷镦以外，还有中间镦粗，如图 6-18 所示。它是使毛坯的中间部位由轴向压缩转向横向扩展（两头均有材料不变形）的一种镦粗工序。

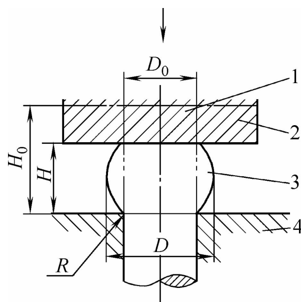


图 6-17　冷镦变形

1—毛坯　2—上模板　3—工件　4—凹模

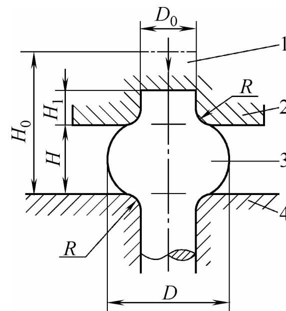


图 6-18　中间镦粗

1—毛坯　2—上模板　3—工件　4—凹模

直径为 D_0 的长杆形毛坯中的 H_0 段材料，上端头部 H_1 段上不变形，在上模板与凹模间的毛坯中间部分进行压缩变形，横向上被扩展成直径为 D、高度为 H 的零件。与端部冷镦相比，只是头上保留了一段材料不变形。因此，其变形实质也是与镦粗相同的。

1. 变形程度

冷镦时，毛坯高度减小，直径增大，变形程度用下式表示：

$$\varepsilon_h = \frac{H_0 - H}{H_0} \times 100\% \quad (6\text{-}1)$$

式中　ε_h——冷镦时变形程度（%）；

H_0——毛坯镦粗前的高度（mm）；

H——毛坯镦粗后的高度（mm）。

一次冷镦的最大初始高度，即 H_{max} 的最大值，应按顶镦规则，通常要小于或等于三倍的直径，即 $H_{max} \leqslant 3D_0$。显然，一道冷镦的变形程度有一个许用范围，超出这个范围，在冷镦毛坯的桶形表面上，便会产生斜裂纹。因此，确定出许用变形程度范围的数值，在工程应用上是很重要的。确定许用变形程度的一种简单方法，通过调整冷镦模具的闭合高度，使冷镦毛坯的高度不断减小，直至出现首条裂纹为止。

表 6-4 列出了常用材料冷镦时的许用变形程度。

表 6-4　常用材料冷镦时的许用变形程度

材　　料	许用变形程度 ε_h（%）	材　　料	许用变形程度 ε_h（%）
铝、纯铜	80	15Cr	60
T1、T2	75	40Cr	55
08F、10F	72	30CrMnSiA	65
10	68	65Mn	40
20	65	GCr15	45
35	60	12Cr18Ni9	76

如果工件所需要的变形程度大于所用材料的许用数值时，应进行两次或几次冷镦工序，但工序间需进行中间退火工艺，以消除每次冷镦后的材料变形硬化。

2. 确定毛坯变形高度和工件直径

（1）冷镦时毛坯许用变形高度　过长的毛坯冷镦时，会发生纵向弯曲。一次冷镦不发生纵向弯曲的许用变形量见图 6-19。

若毛坯直径 $d_0 > 15$mm 时，许可变形高度可按图中所列的许用值乘以 1.2。

（2）冷镦后工件直径和高度　圆柱形毛坯在平板间冷镦（见图 6-17）时，冷镦后工件直径和高度可按体积不变定律进行如下计算：

$$D = D_0\sqrt{\frac{H_0}{H}} = \frac{D_0}{\sqrt{1 - \varepsilon_h}} \quad (6\text{-}2)$$

$$H = H_0(1 - \varepsilon_h) \quad (6\text{-}3)$$

式中　ε_h——许用变形程度（%），由表 6-4 查得。

（3）环形件毛坯在平板间镦粗　环形件在平板间镦粗时，一部分金属沿径向向中心移动，另一部分向外移动，因而就增加了外径，同时减小了内径，如图 6-20 所示，

故环状毛坯在镦粗中存在一个中性层（中性层直径 d_H），该层在每一工件的镦粗中保持其一定的位置。

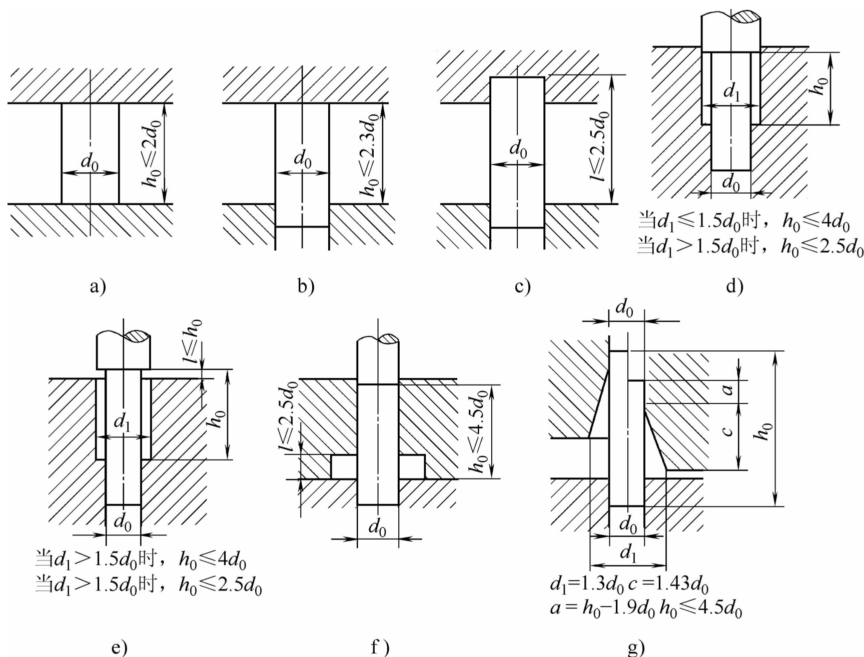


图 6-19　冷镦时不出现纵向弯曲的许用变形量

知道中性层直径 d_H 后，如已知镦粗变形程度 ε，可用下式计算出镦粗后工件的外径 D 和内径 d。

$$D = \sqrt{\frac{D_0^2 - \varepsilon d_H^2}{1 - \varepsilon}} \tag{6-4}$$

$$d = \sqrt{\frac{d_0^2 - \varepsilon d_H^2}{1 - \varepsilon}} \tag{6-5}$$

式中　ε——环形件镦粗变形程度（%）；

D_0——环形件外径（mm）；

d_0——环形件内径（mm）；

d_H——中性层直径（mm），可查图 6-21 求得。

（4）带挤入型腔的镦粗　当镦粗带挤入型腔的工件时，如图 6-22 所示。按比值 D_0/H_0 的不同，有如下三种情况。

1）对比值 $D_0/H_0 \geqslant 2$ 的毛坯镦粗时，使金属发生了向板孔内强烈的流动，因而增加了工件总的高度（$H_K' > H_0$）。

2）对比值 $D_0/H_0 < 1.5$ 的毛坯镦粗时，工件总的高度总是小于毛坯的高度（$H_K' < H_0$）。

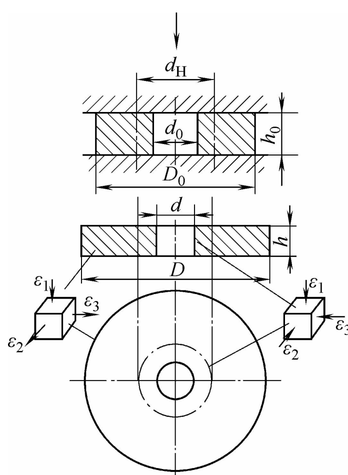


图 6-20　环形毛坯镦粗

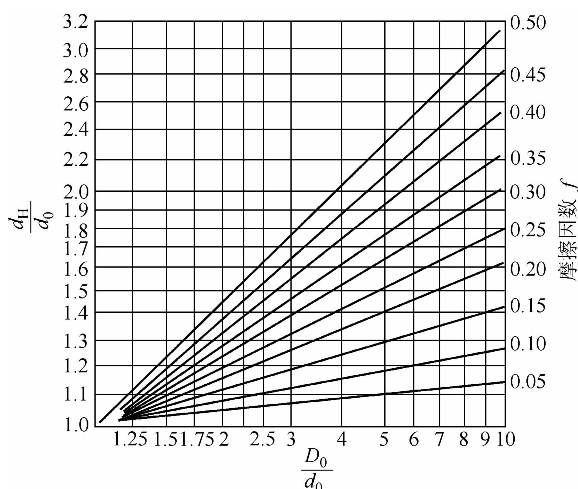


图 6-21　环形试样在镦粗时中性层直径的位置

此外，金属在轴向流动的急剧程度视孔径的相对数值 d/D_0 和变形程度而定。

3）毛坯的直径应为孔径的 2 ~4 倍，因为在 $D_0 = 1.2d$ 的情况下将不是镦粗，而是毛坯外层的揉压和压榨。

（5）圆柱形毛坯的压扁镦粗　在冷变形中，常使用圆柱形毛坯在侧面上加压力镦粗，如图 6-23 所示。用这种方法能达到很高的镦粗程度。

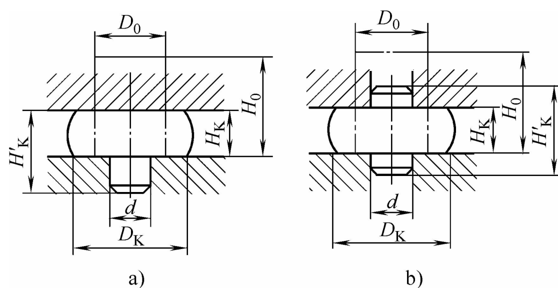


图 6-22　带挤入型腔的镦粗

a）一端挤入型腔　b）两头挤入型腔

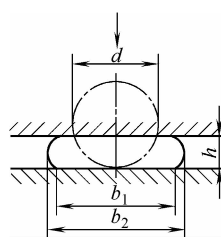


图 6-23　圆柱形毛坯压扁

工件尺寸按下式计算：

$$h = d(1 - \varepsilon_b) \tag{6-6}$$

$$b = \frac{b_1 + b_2}{2} = 0.78\frac{d}{1 - \varepsilon_b} \tag{6-7}$$

式中　d——压扁前毛坯直径（mm）；

h——压扁后工件的高度（mm）；

b_1——压扁后工件的最小宽度（mm）；

b_2——压扁后工件的最大宽度（mm）；

b——压扁后工件的平均宽度（mm）；

ε_b——压扁镦粗程度（一般为 $\varepsilon_b = 0.5 \sim 0.6$），由 $\varepsilon_b = \dfrac{d-h}{d}$计算。

例如，当 $\varepsilon_b = 0.6$ 时，可得 $h = 0.4d$，$b \approx 2d \approx 5h$。

3. 计算冷镦力

（1）圆柱形毛坯　根据变形力的工程计算，圆柱形毛坯在平板间自由镦粗时所需单位压力由下式确定：

$$p = \sigma\left(1 + \frac{1}{3}f\frac{D_K}{H_K}\right) \tag{6-8}$$

式中　p——自由镦粗的单位压力（MPa）；

σ——变形终了时变形抗力（MPa），由 $\ln\dfrac{H_0}{H_K}$值查图 6-24；

f——摩擦因数，一般取 $f = 0.1$，更精确的数值见表 6-5；

D_K——镦粗变形后的直径（mm）；

H_K——镦粗变形后的高度（mm）。

钢材镦粗时，不同润滑剂的摩擦因数 f 见表 6-5。

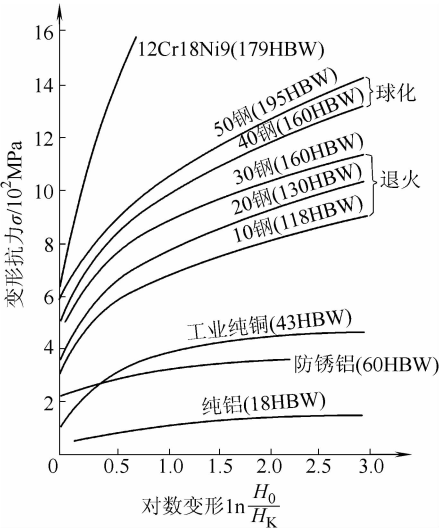


图 6-24　不同材料的变形抗力

表 6-5　镦粗时不同润滑剂的摩擦因数

润滑剂	摩擦因数 f
磷化 + 皂化	0.06 ~ 0.08
石墨 + 全损耗系统用油	0.08 ~ 0.10
MoS_2 + 全损耗系统用油	0.07 ~ 0.08
矿物油	0.12 ~ 0.14

计算了冷镦单位压力 p 以后，可按下式求出冷镦力 P：

$$P = pA = 0.785pD^2 \tag{6-9}$$

式中　A——镦粗后工件的横截面积（mm^2）；

D——工件镦粗后直径（mm）。

（2）其他形式镦粗　同样，冷镦变形力的计算由下式确定：

$$P = Ap = Ac\sigma_{max} \tag{6-10}$$

式中　P——最大冷镦变形力（N）；

A——镦粗终了时受压面积（mm^2）；

p——单位压力（MPa）；

σ_{max}——镦粗终了时的真实变形抗力（MPa），按图 6-24 查得；

c——约束导数。

冷镦时约束系数与工件的形状、应力状态、润滑剂及毛坯表面等有关，其值可按下式计算：

$$c = znm \tag{6-11}$$

而

$$m = 1 + \frac{afA}{uh} \tag{6-12}$$

式中　z——取决于冷镦形状的系数；

n——取决于应力影响的系数；

m——取决于摩擦影响的系数；

a——取决于冷镦平面形状的系数；

f——摩擦因数；

u——冷镦后工件的周边长度（mm）；

h——冷镦后工件的高度（mm）；

A——冷镦后工件的投影面积（mm^2）。

各约束系（因）数值见表 6-6。

表 6-6　约束系（因）数

符号	工　作　条　件	系（因）数
z	在最初工序中简单形状的冷镦	1.0 ~ 1.2
	中等复杂最终形状的冷镦	1.2 ~ 1.5
	复杂的最终形状的冷镦	>1.5
n	开式模具	1.0
	半开式模具（在最后形成飞边）	2.5
a	圆柱形冷镦	1.3
	六角柱形、正方柱形冷镦	2.0
	长方形冷镦	2.3
	非对称的复杂形状冷镦	2.5 ~ 3.0
f	研磨过的模具表面，石墨润滑	0.05 ~ 0.10
	研磨的模具表面，无润滑	0.10 ~ 0.15
	光滑的模具和材料表面	0.15 ~ 0.20
	粗糙的模具和材料表面	0.20 ~ 0.30

4. 模具设计

由于冷镦变形方式不同，其模具工作部分的设计有不同的特点。

（1）端部冷镦　冷镦端部时的金属积聚，根据成形部位在模具中所处的位置不同，可将其分为以下三种基本模具结构（见图 6-25）：①在凸模中积聚金属；②在凹模中积聚金属；③在凸模和凹模中积聚金属。

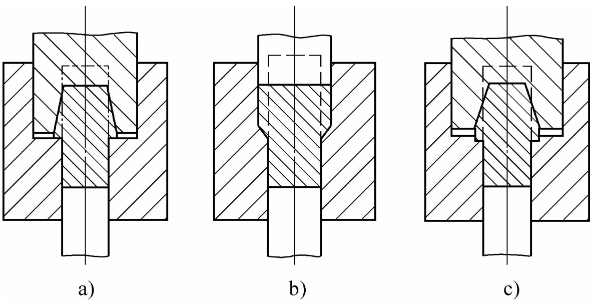


图 6-25　三种端部金属的积聚模具
a）在凸模中　b）在凹模中　c）在凸模和凹模中

模具设计的特点主要有以下几点：

1）凹模要有夹持好毛坯不变形部分的功能，其孔口边缘应成圆角。

2）冷镦平端和圆柱头部时，上模板工作部分的形状与冷镦模冲头相同。

3）冷镦外凸曲面形镦头件时，上模板工作部分的形状要有相应的内凹曲面形状。

4）当冷镦件头部外曲面的端面表面粗糙度要求不高时，上模板内凹中心外一般设计有一个小出气孔，如图 6-26 所示。如果其端面表面粗糙度要求较高时，则上模板不能加工出气孔。此种情况下，一般可采用增加一次预成形，或毛坯端面用切削的方法，加工出符合表面粗糙度要求的相应圆弧端面再冷镦。这样既减小了冷镦力，又能达到端面表面粗糙度的要求。

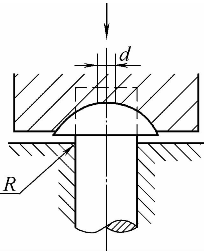


图 6-26　上模板中心处的出气孔

5）形状复杂的头部要设计多次冷镦变形工艺和模具。

例如，冷镦螺栓的工艺流程如图 6-27 所示。这些工艺在附有搓螺纹装置的 $Z47$ 系列多工位冷镦机上实现，其模具特点见表 6-7。这种冷镦工艺流程是一种较为标准的工艺。

表 6-7　冷镦螺栓工艺过程的模具特点

工序号	工序名称	模　具　特　点	其　　他
1	下料（见图 6-27a）	定长 l_m、l_1	d_m—螺栓外径，滚轮送料
2	镦头（见图 6-27b）	D_K 处为分模面，$\alpha=7°\sim8°30'$，$D_K=d_m+2H\tan\dfrac{\alpha}{2}$，$H=0.6l_1$	

（续）

工序号	工序名称	模 具 特 点	其 他
3	镦球头（见图 6-27c）	$D_0=0.98s_m$，模具型腔凹端顶部有一个直径 1～2mm，长 1～2mm 的存气孔	
4	镦六角及缩挤杆部（见图 6-27d）	根据螺栓的标准尺寸，但模腔棱面相交处均用小圆弧相连，缩挤杆部与镦头模为组合式	
5	搓螺纹（见图 6-27e）	搓螺纹模	

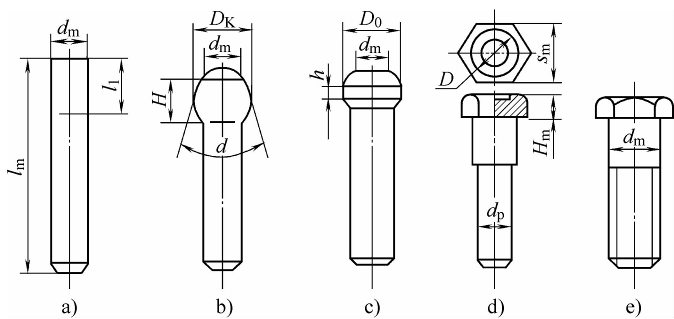


图 6-27　冷镦螺栓工艺流程

a）下料　b）镦头　c）镦球头　d）镦六角及缩挤杆部　e）搓螺纹

又如冷镦六角螺母，材料为 Q235 普通碳素钢，也是一种较为标准的工艺，其流程是：下料→镦球→镦六角→冲孔→攻螺纹，如图 6-28 所示。

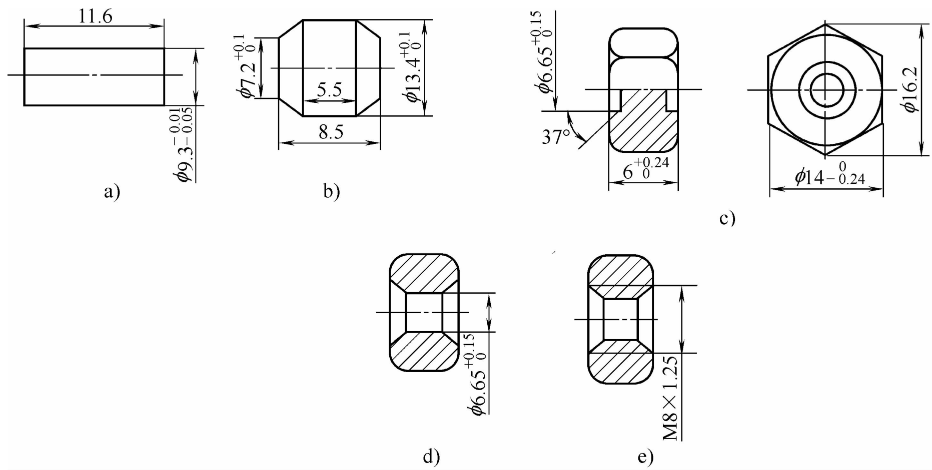


图 6-28　冷镦六角螺母工艺流程

a）下料　b）镦球　c）镦六角　d）冲孔　e）攻螺纹

（2）中间冷镦　同样，冷镦中间部位时的金属积聚，根据成形部位在模具中所处位置的不同，也有以下两种基本模具结构，如图 6-29 所示。图 6-29a 所示是利用带芯杆的组合凹模，在毛坯的中间部位进行冷镦来聚集金属的；图 6-29b 所示是利用径向挤压的方法，使中间部分的截面加大的。

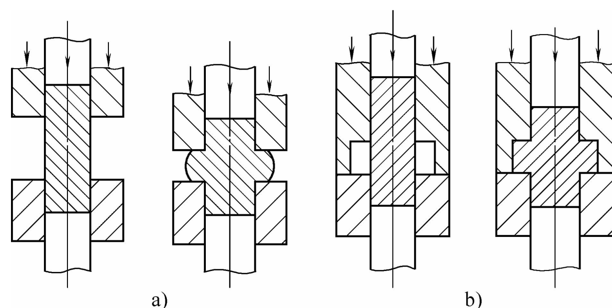


图 6-29　两种中间部位金属的积聚模具

冷镦毛坯中间部位模具工作部分的设计要点如下：

1）凹模功能及工作部分设计原则同端部冷镦。

2）上模板工作部分要有容纳毛坯不变形部分长度的相应内孔，且上模板和凹模孔口边缘要成圆角（见图 6-18）。

3）要镦制中间成圆柱体形零件，应采用半封闭式冷镦方式，上模板与凹模应有相应的型腔。

4）形状复杂的零件，同样要设计多次中间冷镦工艺和模具。

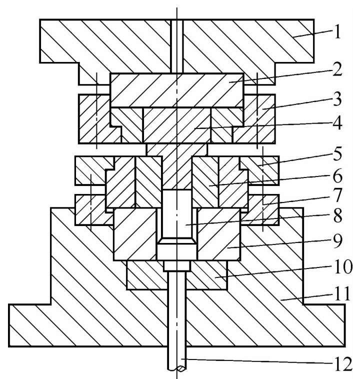


图 6-30　开式冷镦头部模具

1—模板　2—垫块　3、5—上、下压圈　4—上模　6—下模　7—导向套　8—顶料杆　9—支撑　10—垫圈　11—模座　12—顶杆

整体冷镦模具结构形式，按变形方式不同可分为开式、半封闭式冷镦头部模具及中间冷镦的模具。开式冷镦头部模具如图 6-30 所示。该模具的上下工作部分（上模 4 和下模 6），均采用独立的预应力圈加强，下部顶料杆 8 兼有封闭挤压的作用。图 6-31 所示是半封闭式冷镦头部模具。它的上下两部分都是成形型腔，分别用独立的预应力圈加强，并利用自身结构进行导向。在毛坯的中间部位进行中间冷镦的模具，如图 6-32 所示。该模具采取双重卸料和顶杆结构，上下模具都镶有硬质合金，并利用特设的模圈导向套 7 进行导向。

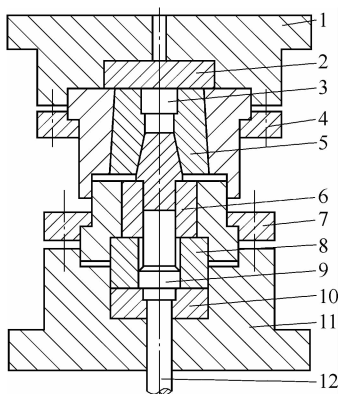


图 6-31　半封闭式冷镦头部模具

1—模板　2—垫块　3—芯杆　4、7—上、下压圈　5—上模　6—下模　8—支撑　9—顶料杆　10—垫圈　11—模座　12—顶杆

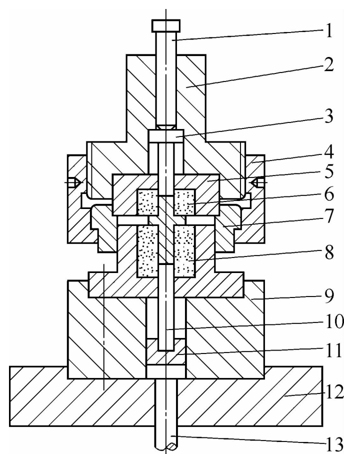


图 6-32　冷镦中间部位的模具

1—打料杆　2—模柄　3—退料杆　4—圆形螺母　5—上模套　6—上模　7—导向套　8—下模　9—下垫块　10—顶料杆　11—顶杆座圈　12—下模板　13—顶杆

6.3　高速冷挤压

近几年来，在低速冷挤压的基础上，高速锤上的冷挤压工艺得到了很快的发展。目前，高速冷挤压已广泛应用在机械制造、汽车制造和宇航工业中。高速冷挤压的材料有纯铝、铝合金、纯铜、铜合金、碳素钢、低合金结构钢及不锈钢等。高速冷挤压所制的零件，其形状呈薄片、细长轴，如叶片、顶针等。

一般机械传动的冷挤压压力机的滑块运动速度约为 0.1 ~ 0.4m/s，而高速锤的滑块运动速度可高达 10 ~ 24m/s。

1. 高速冷挤压的特点

高速冷挤压与一般挤压工艺相比，它不但具有低速冷挤压的优点（如节约原材料、提高劳动生产率、提高零件的尺寸精度和力学性能，以及降低表面粗糙度等），而且还有下面一些特点：

（1）冷挤压件表面粗糙度值低　在高速锤上进行冷挤压所得零件的表面粗糙度值是较低的。在入口角为 180°的平凹模上，以羊毛脂润滑，对有色金属两种挤压速度进行冷挤压。在低速冷挤压时，曾发现润滑层脱落，零件表面出现刮伤；而在高速冷挤压时零件表面质量较为理想。有的单位用磷化后皂化作为钢的高速冷挤压润滑，用磺化油脂作为有色金属高速冷挤压的润滑，都得到了满意的结果。高速冷挤压能够得到表面粗糙度值低的制件，是由于在高速下摩擦因数的降低。室温下不同滑块速度的摩擦因数见表 6-33。一般情况下，摩擦因数随变形速度的增加而降低。另外，在高速挤压时润滑剂

来不及挤出，润滑条件好，从而减小了摩擦力，这不仅可以延长模具寿命，而且使制品表面光洁。

由图 6-33 可知，在不用润滑的情况下，高速时摩擦因数也相当低，这可能是由于高速下温度升高在摩擦面上形成氧化薄膜的缘故。

（2）金属流动均匀　与低速相比，高速冷挤压时由于摩擦因数随着变形速度的提高而降低，使金属变形趋于均匀，表现为变形区小，死角区小，坐标网歪扭少。图 6-34 所示为纯铜在低速和高速（19.5m/s）下冷挤压时的金属流动图。从图 6-34 可知，变形速度的提高有利于金属均匀流动。在钢铁材料冷挤压时，高速变形同样有利于金属的均匀流动。

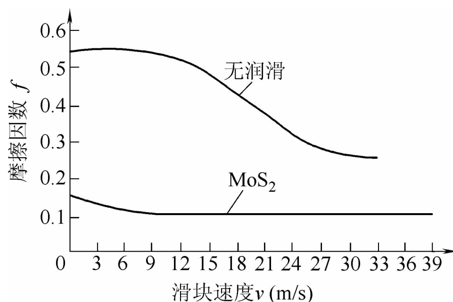


图 6-33　室温下不同滑块速度的摩擦因数

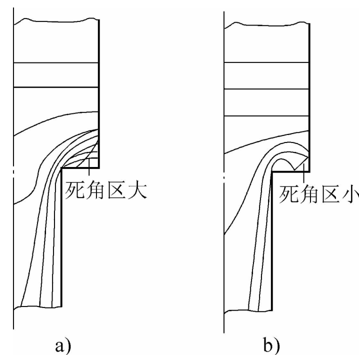


图 6-34　纯铜在不同速度下的金属流动图
a）低速　b）高速

（3）挤压件平直　在高速下进行冷挤压，由于“自直效应”的作用，所得到的挤压件都较低速平直。如高速锤的打击速度为 15m/s，而毛坯的挤压比为 10 时，那么金属的流动速度将达到 150m/s。因此，它具有很大的动能，且高速变形是在极短的时间内完成的。这样，已挤出部分的金属具有很大的惯性力，这对后续部分金属产生了一个“拉直作用”。即使零件的横截面形状较复杂，挤压后也可以得到很直的零件。

（4）挤压件力学性能好　高速冷挤压件的抗拉强度比低速时高，而断面收缩率比低速时略低，如图 6-35 和图 6-36 所示。这是由于金属高速冷挤压时加工硬化现象比低速要好。

（5）挤压件的尺寸精度　应该指出，高速冷挤压件在长度方向上略有斜度，先挤出来的前端尺寸往往大于后端。用直径 ϕ25.4mm 的毛坯正挤压成 ϕ0.254mm × 30.5mm 的工件，前后端直径差约为 0.05mm。这是由惯性力引起拉直作用的缘故。在编制高速挤压工艺时，要注意到这一现象。

应指出，高速挤压还存在如下缺点：

（1）挤压件易被拉断　设高速挤压的凸模以 v_0 = 17m/s 的速度运动，挤压比 G = 15，则被挤出的金属应以 v_0G = 17 × 15m/s = 255m/s 的高速向前运动，而凸模在千分之几秒后突然停顿下来，这样一来，前端已流出的高速部分便对未流出的低速部分产生一

个拉力。该拉力可以拉直挤压件，这是好的一面，但当此拉力很大时，就有可能拉断挤压件。由此可以看出，高速挤压细而长的零件是困难的，即使不被拉断，也会使挤压件的横截面变细。

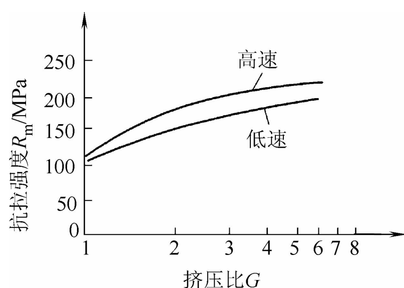


图 6-35　高速及低速冷挤压纯铝的抗拉强度

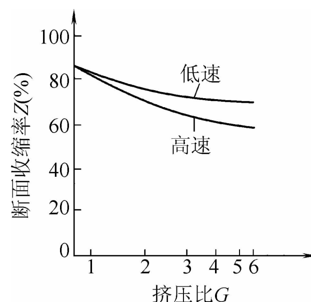


图 6-36　高速及低速冷挤压纯铝的断面收缩率

（2）挤压件易过烧　由于高速变形的热效应比较显著，会引起零件局部地方温度上升到锻造加热温度的上限以上，不仅造成挤压件过烧，同时也降低挤压件强度。

2. 高速冷挤压的单位挤压力

图 6-37 所示为凸模运动速度对单位挤压力的影响，试验用的毛坯尺寸为 ϕ25. 4mm ×38. 1mm。以 15 钢的室温正挤压为例（见图 6-37d），在 21m/s 的高速下单位挤压力较低速冷挤压低，但当挤压速度继续增加以后，挤压力便随之而增加。有时在极高速下会出现第二个最低值，这可能是变形热效应的原因。从图 6-37 可以得到不同材料高速冷挤压时的合理打击速度：纯铝为 8 ~12m/s，纯铜为 18 ~22m/s，低碳钢为 22 ~26m/s。

在高速锤上采用温热挤压可以使挤压力降低，模具寿命可显著地提高。

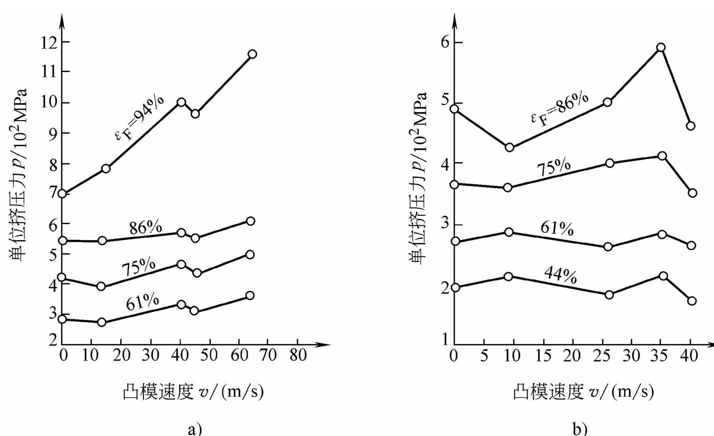


图 6-37　凸模运动速度对单位挤压力的影响

a）纯铝正挤压，5400J 能量　b）纯铝反挤压，2700J 能量

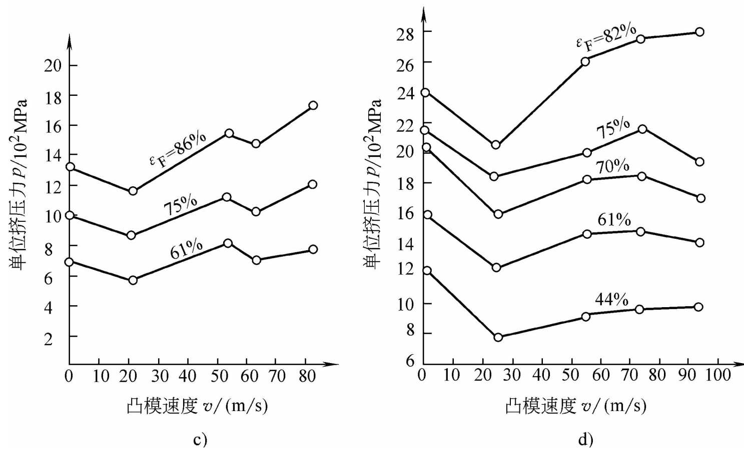


图 6-37　凸模运动速度对单位挤压力的影响（续）
c）纯铜正挤压，10800J 能量　d）15 钢正挤压，13500J 能量

6.4　静液挤压

静液挤压是采用高压液体代替通常的凸模将毛坯挤出凹模的一种新的挤压技术。这种方法的研制成功，为挤压一些低塑性材料提供了可能性，尤其在宇航工业中得到了应用。

1. 静液挤压的工作原理及特点

图 6-38 所示为静液挤压的工作原理图。在静液挤压时，变形毛坯处在高压液体的包围之中。当柱塞压缩液体，使其压力达到材料变形所需要的压力时，挤压材料产生塑性变形，通过挤压凹模的模孔，从而挤成所要求的产品几何形状和尺寸。在图 6-38 中，高压液体代替了普通挤压中的刚性挤压凸模。

液体的高压可由以下两种办法产生：①用一台普通的压力机迫使柱塞进入挤压容器（挤压筒），从而压缩液体；②直接从一个增压器将高压液体压入挤压筒。

毛坯要求需具有一个锥形端头，以便开始挤压以前，毛坯可与模具的锥形部分大致密合。

由于毛坯被全部挤出后会引起高压液体的卸压，因此，通常不将毛坯完全挤出，或把挤压柱塞做成圆锥形，在挤压终了时能封住凹模出口。

与普通挤压相比，静液挤压具有如下特点：

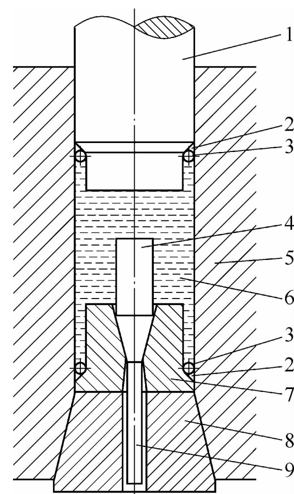


图 6-38　静液挤压的工作原理图
1—柱塞　2—钢圈或铍青铜圈　3—尼龙橡胶圈　4—毛坯未挤出部分　5—挤压筒　6—油液　7—凹模　8—镶垫块　9—挤出的零件

1）由于毛坯侧表面不与挤压筒内壁相接触，因此，可以大大减小摩擦力的不利作用。

2）由于毛坯的四周被高压液体包围，增加了毛坯的纵向稳定性，因此，可以挤压长径比很大的毛坯。

3）由于高压液体连续不断地被带入毛坯与凹模之间，因此，可以保证接触表面始终处于强制的润滑状态，降低摩擦因数，使挤压力大大下降。

4）由于凹模四周被高压液体包围支承，因此，可以使用薄壁凹模，不需在凹模本体外围加套预应力圈，而不会发生凹模纵向开裂，可以大大提高模具寿命。

5）由于被挤毛坯始终处于强烈的不等三向压应力作用下，因此，可以大大提高被挤材料的塑性，从而为挤压一些低塑性材料提供了可能性。

6）由于变形材料与模具间的摩擦力很小，消除了产品表面严重受剪切的作用，从而减少了脆性材料挤压时破坏的危险，也可避免在一般挤压产品中出现的表面缺陷。

7）挤压筒可以适应各种形状的毛坯，对毛坯的尺寸精度要求不高。

8）能够挤压多种产品，包括管件、阶梯形零件。静液挤压还可以挤压带螺旋槽的零件，因为毛坯在挤压时可以在容器（挤压筒）内转动。还可以挤压其他各种形状复杂的零件，如弧齿锥齿轮、花键轴等。

9）由于静液挤压的加工变形量，变形又较均匀，使产品的力学性能得到了很大的提高。试验证明，静液挤压产品的晶粒细而均匀。

静液挤压的缺点是生产率低。这主要是由于液体需要供和泄，并且还要一段建压的时间。

目前，可以用静液挤压方法加工的金属材料如下：

1）铝及其合金（变形铝合金及若干铸造铝合金）。

2）镁及其合金（变形镁合金及若干铸造镁合金）。

3）铜及其合金、黄铜。

4）纯铁与钢，一些碳钢、合金钢、不锈钢、高速钢，甚至铸铁。

5）镍基高温合金。

6）铍、钽、锆及其合金，铌、铬、钼、钒、钨、钛及其合金。

7）锌及其合金。

8）铋。

此外，原子工业材料如铀、钍、钚、石墨等都可进行静液挤压。

一般来说，冷静液挤压件的尺寸精度等级可达 IT7 ~ IT8，表面粗糙度 Ra 可达 0.1 ~0.4μm。

2. 静液挤压的工装设计

（1）挤压机　静液挤压机的主要特点是速度高、对中性能好。实际上，导向性能好的普通挤压机、一般液压机，都可以用作为静液挤压机。

（2）挤压筒　挤压筒是静液挤压的关键零件。挤压筒内径越大，工作压力越高，设计与制造越困难。其结构形式也是多种多样的，常用的有以下几种：单层筒；多层组

合筒，一般为 3 ~5 层；外加钢带缠绕的筒等。

挤压筒的材料用超高强度钢制成，如马氏体时效钢。筒的内衬也有用硬质合金的。缠绕用的钢带材料也是超高强度钢。一般钢带的截面积是 0.7mm ×5mm 或 1mm ×9mm。

组合筒每层的硬度要处理得不一样。内层硬度最高，一般为 55 ~60HRC，逐层降低，最外一层一般为 40 ~45HRC。

（3）柱塞　柱塞材料也用超高强度钢。要求塑性高一些，故热处理后的硬度不宜过高，一般为 50 ~55HRC。柱塞的几何形状应尽量做得光滑过渡，避免产生应力集中，特别不适于在柱塞的端部打孔或开槽。

（4）挤压凹模　静液挤压凹模入口锥角为 25° ~45°，比一般挤压凹模锥角要小。由于挤压凹模处于高压液体的包围之下，模壁一般都很薄，甚至 3 ~5mm 的厚度也不会破裂。要注意的是模具变形工作部分应尽量放在密封圈以上。同时，可以根据挤压产品形状的复杂程度，采用纵向或横向组合的挤压模，其外表只要套上一层薄的橡胶圈或塑料圈即可。模具材料采用普通的模具钢，已经足够满足要求。

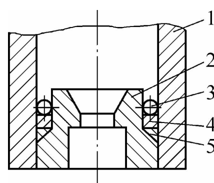


图 6-39　挤压筒与凹模之间的密封

1—挤压筒　2—凹模　3—O 形密封圈　4—矩形密封圈　5—斜形密封圈

（5）高压密封　建立静液挤压过程，须解决高压密封。高压密封主要指在挤压筒与凹模之间和柱塞与挤压筒之间的密封，以及毛坯与模具、心杆与毛坯之间的密封。

挤压筒与凹模之间的密封（见图 6-39）是静密封。

柱塞与挤压筒之间的密封有静密封（见图 6-40）和动密封（见图 6-41）两种。动密封结构简单，但密封圈寿命很低。静密封可靠，同时密封圈寿命也长。

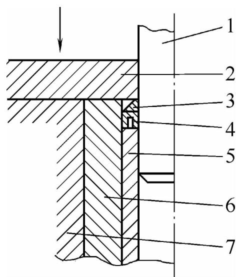


图 6-40　柱塞与挤压筒之间的静密封

1—柱塞　2—压板　3—斜形密封圈　4—U 形密封圈　5—间距管　6—挤压筒内衬　7—挤压筒

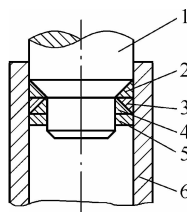


图 6-41　柱塞与挤压筒之间的动密封

1—柱塞　2、3、4—斜形密封圈　5—矩形密封圈　6—挤压筒

密封圈采用 O 形、U 形、矩形和斜形等。O 形圈和 U 形圈用丁腈橡胶或聚氨酯橡胶制造；矩形圈由聚四氟乙烯、尼龙 1010 制造；而斜形圈用铍青铜制造，如果压力很高，可用轴承钢制造。

毛坯头部与凹模接触处的密封较简单，可将毛坯头部车制成比凹模角稍小的锥角，

借以密封并形成液体楔层以改善挤压时的润滑条件。

挤压空心零件时，凹模与心杆之间的密封如图6-42和图6-43所示。图6-42是挤压内壁光滑的空心件时所采用的密封方法。毛坯的头部直径 d_1 比模孔直径 d 大0.5～1.0mm，挤压前毛坯置于模具内在压力机上收口，使毛坯头部包紧心杆。经收口后，毛坯头部的直径 d_2 稍大于凹模孔径即可。图6-43所示为挤压内壁带有花键空心件的密封方法。毛坯头部直径 $d_1 = d + 2\delta + (3 \sim 5)\text{mm}$（式中，$\delta$ 为心杆上花键槽的深度，d 为凹模模孔直径）。经收口后毛坯头部的内壁必须塞紧心杆上的花键槽，才能起到密封作用。收口后的毛坯直径 d_2 仍要比凹模孔径 d 略大为宜。

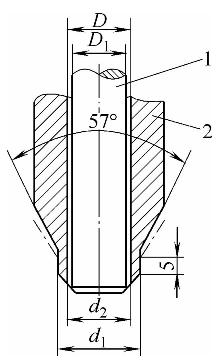


图6-42　挤压空心件的密封方法
（光滑心杆的密封）
1—光滑心杆　2—毛坯
注：$D = D_1 + (0.3 \sim 0.5)\text{mm}$，
点画线为收口后的形状。

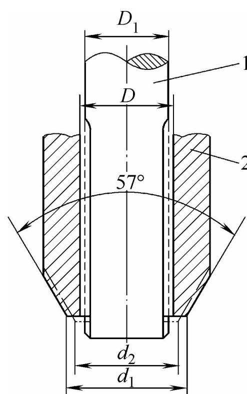


图6-43　挤压空心件的密封方法
（花键心杆的密封）
1—花键心杆　2—毛坯
注：$D = D_1 + (0.3 \sim 0.5)\text{mm}$，
点画线为收口后的形状。

3. 压力介质及润滑剂

静液挤压要求作为压力介质的液体将静液压力传到毛坯表面，并能润滑毛坯与模具之间的接触面。液体本身也将从这一接触面上渗过。采用的压力介质按工作条件不同也有所不同。

当冷静液挤压时，压力介质的选择如下所述：

1）工作压力在1000MPa以下时，可选矿物油、变压器油，并加入质量分数为10%的二硫化钼（它在超过1000MPa后有凝固的趋势）。

2）工作压力在1500MPa左右时，可选蓖麻油加入质量分数为10%的甲基化酒精。

3）工作压力在2000MPa左右时，可选渗有质量分数为25%乙二醇的甘油。

4）工作压力在2000～3000MPa时，可选用白色汽油和异戊烷（工作压力在3000MPa时也不凝固）。

当温静液挤压时，可采用润滑脂一类的油脂。

当热静液挤压时，可采用玻璃或 Al_2O_3。

这里应需注意的是，液体在高压下是可以压缩的。一般室温下，1000MPa 压力时，液体的压缩量是 20% 左右；2000MPa 压力时，压缩量是 30% 左右。

表 6-8 列出了压力介质对挤压压力和表面状态的影响。该表所列试验表明，用齿轮油时，挤压压力最小，但表面状态最差。

表 6-8　压力介质对挤压压力和表面状态的影响

压力介质	润滑剂	挤压压力/MPa	工件表面质量
齿轮油	无	375	不好
变压器油	无	550	一般
水	无	545	好
	齿轮油	500	非常好

注：挤压纯铝，变形程度 $\varepsilon_F = 77.3\%$。

为了改善润滑情况，一般都在毛坯表面涂上石墨油脂或二硫化钼油脂，也可涂上乳状橡胶或聚四氟乙烯等有机润滑剂，还可进行磷化处理的。

4. 挤压压力

挤压压力是静液挤压的主要工艺参数。在拟定静液挤压工艺时，往往是与这一工艺参数有关。

影响挤压压力的因素主要有：毛坯材料的变形抗力、变形程度和挤压产品的形状等。挤压压力的计算方法如下所述。

（1）经验公式计算法　以广泛的试验为依据，静液挤压的冷挤压力可按下列公式计算。

1）在挤压铝和铝合金时：

$$p = (394\text{HV} + 9200)\ln G \tag{6-13}$$

2）在挤压铜和铜合金时：

$$p = (750\text{HV} + 10000)\ln G \tag{6-14}$$

3）在挤压各种钢时：

$$p = (565\text{HV} + 2100)\ln G \tag{6-15}$$

式中　p——挤压压力（MPa）；

HV——挤压材料的维氏硬度；

G——挤压比。

此外，还提出挤压各种材料时的近似公式为

$$p = (581\text{HV} + 6200)\ln G \tag{6-16}$$

（2）图算法　图 6-44 所示为几种不同材料的挤压压力与挤压比的关系。挤压比越大，挤压压力越高，材料越硬，挤压压力随挤压比升高的程度越大。

图 6-45 表示出了铝和铝合金毛坯硬度与挤压压力和挤压比对数比值的关系。很显然，毛坯硬度越高，挤压压力越大。

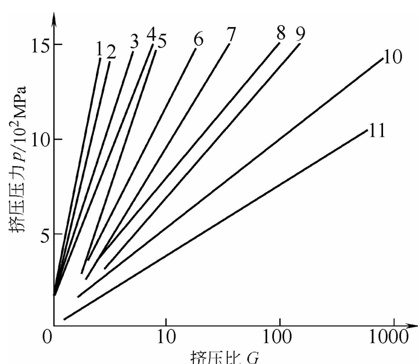


图 6-44　几种材料的挤压压力与挤压比的关系

1—弹簧钢　2—高速钢　3—w(C)=0.4%的碳钢　4—w(C)=0.2%的碳钢　5—镍银　6—铜镍合金[w(Ni)=10%]　7—纯铜　8—7A04 超硬铝　9—2A11 硬铝　10—6A02 锻铝　11—1200 纯铝

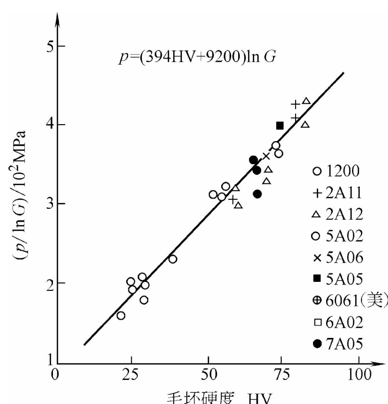


图 6-45　铝和铝合金的毛坯硬度（HV）与 $p/\ln G$ 的关系

此外，挤压产品形状不同，挤压压力也不同。一般来说，形状越复杂，挤压压力就越高。例如，挤压圆管材就比挤压圆棒材的挤压压力高，如图 6-46 所示。

在静液挤压过程中，随着挤压柱塞压缩液体，挤压压力升高很快，当到一定值后，毛坯开始变形，这时压力略有下降，然后压力曲线相当平稳（如果润滑良好的话），直到毛坯变形结束，如图 6-47 所示。这个压力最大值，即压力峰值称为突破压力。这个突破压力与材料性质、挤压速度、压力介质等有关。试验指出，突破压力越低越好。

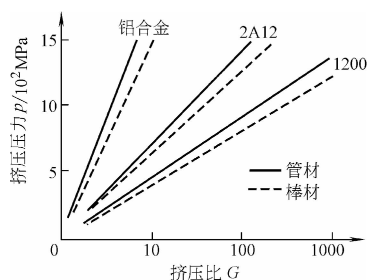


图 6-46　管材和棒材的挤压压力比较

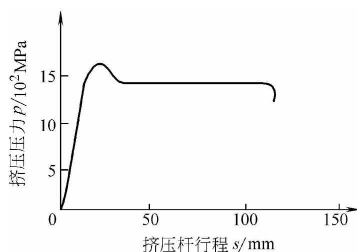


图 6-47　压力曲线

5. 工艺参数的确定

（1）挤压比　由于静液挤压力比普通挤压时要低得多，因此，静液挤压比可以很大，例如，在 1500MPa 的压力下冷态挤压，纯铝的挤压比可达 9000，铝合金可达 200，高速钢可达 4，图 6-48 表示出了在 1500MPa 压力下，铝和铝合金、铜和铜合金以及钢的最大挤压比。

挤压比的大小对挤压产品的性能和表面质量都有影响，在选取挤压比时，应进行综合考虑。

表 6-9 列出了各种材料在静液挤压与普通挤压两种情况下最大挤压比的比较数据。由表 6-9 可知，纯铝的一次挤压比为 9000，铜为 40；而同一产品如采用拉拔方法时，铜需拉拔 10 次，纯铝需拉拔 32 次。

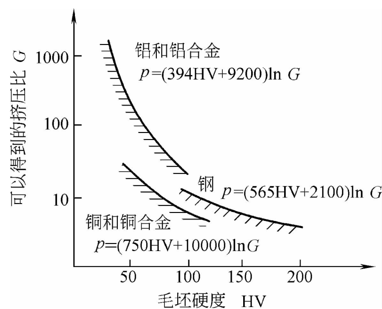


图 6-48　在 1500MPa 的压力下各种材料的最大挤压比

表 6-9　各种材料的最大挤压比比较（冷态）

材　　料	最大挤压比	
	静液挤压	普通挤压
纯铝（99.5%）	9000	1000
纯铜（99.9%）	40	15
35 钢	7 ~ 8	5
工具钢	2.5 ~ 3	不能
锆合金	2.5 ~ 3	不能
纯钛	4.5 ~ 5	2 ~ 2.5
钽	8 ~ 9	不能

（2）凹模锥角　挤压凹模锥角的大小对挤压力的影响极大，如图 6-49 所示。对各种材料来说，对应于最小挤压力的凹模锥角一般在 20° ~ 45°之间（全角），其值比一般挤压力时要小得多。但对同一材料来说，挤压比越大，合适的挤压凹模锥角也越大，有时可以达到 90°。

（3）挤压速度　作为防止粘着滑移现象出现的一个方法是，使挤压突破压力与稳定挤压压力的差值很小，在挤压时保持液体润滑状态。如图 6-50 所示，如果升高速度大，则挤压突破压力变低，突破压力与稳定挤压压力之差就小，因此，挤压开始时压力的下降就少，柱塞速度就可能使压力上升值追上这个下降值，从而可能实现稳定挤压，不产生粘着滑移现象。如图 6-50 所示，用蓖麻油作压力介质时，当升压速度在 5000MPa/min 以上时，就可实现不产生粘着滑移的稳定挤压。图 6-50 中的符号说明见表 6-10。

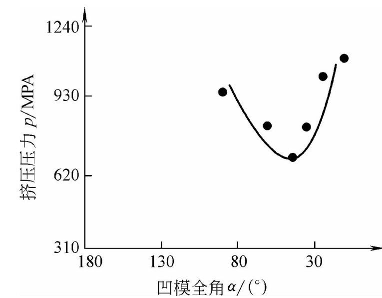


图 6-49　挤压压力与凹模锥角的关系

注：材料为 40 钢；毛坯直径为 ϕ13.6mm；挤压比 $G=2$；介质为液体 + MoS_2。

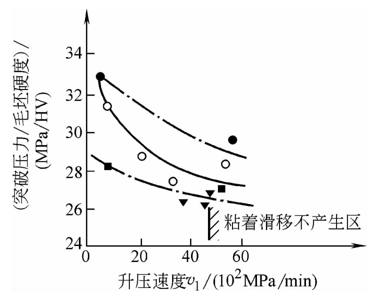


图 6-50　升压速度、压力介质种类、润滑剂对挤压突破压力的影响

表 6-10　图 6-50 中符号说明

符号	压力介质	毛坯前端形状	润滑剂	压力介质体积/cm^3
○	蓖麻油	1 段锥形	无	43
●	蓖麻油 + 甲醇	1 段锥形	无	43
▼	蓖麻油 + 甲醇	2 段锥形	黄蜡	43
■	蓖麻油 + 甲醇	2 段锥形	黄蜡	78

为了实现液体润滑所需的挤压速度，当凹模锥角越小，材料变形抗力越小以及压力介质的黏度越大时，速度就可以低些。这就是说，凹模锥角小、材料变形抗力小、压力介质的黏度大，有利于避免粘着滑移现象，实现稳定挤压，并降低突破压力值。

试验证明，挤压速度小于 10mm/s 时，容易产生粘着滑移现象，特别是速度在 0 ~ 5mm/s 时，粘着滑移现象很严重。当然，粘着滑移现象的产生是与多种因素有关的，但主要是取决于挤压速度。因此，要消除粘着滑移，最有效的办法就是提高挤压速度。

粘着滑移的出现，会影响产品尺寸精度。图 6-51 所示为产品直径随挤压速度的变化。当挤压速度大于 10mm/s 时，挤压产品的直径尺寸均匀。一般来说，冷静液挤压速度选在 20 ~ 70mm/s 之间较适宜。

（4）毛坯前端形状　为了保证挤压过程具有良好的连续润滑状态，挤压毛坯前端的锥角应比模角小 1° ~ 2°。这样既能保证初始密封的建立，又能使模具和毛坯之间具有足够的空间形成楔状液体膜，在挤压过程中形成连续的液体润滑，同时也可使压力峰值下降。

图 6-52 所示为毛坯前端形状对挤压突破压力的影响。所用毛坯前端形状如图 6-53 所示。可见，挤压毛坯前端形状是两段不同锥度的锥形时，挤压压力比单一锥度的锥形时要小，而它的效果又取决于挤压速度。挤压速度小时，两段锥度的效果大；挤压速度大时，两者差别减小。

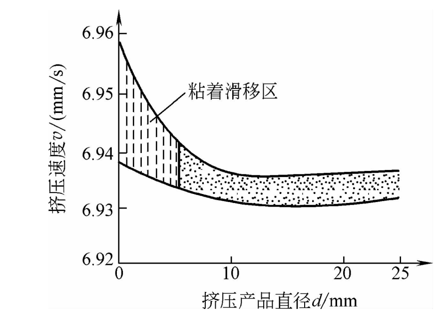


图 6-51　产品直径随挤压速度的变化

注：挤压比为 8；全模角为 45°；模孔直径为 ϕ69mm。

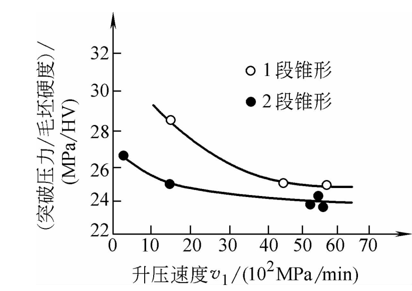


图 6-52　毛坯前端形状对突破挤压压力的影响

注：挤压比为 8；压力介质为蓖麻油；凹模锥角为 45°。

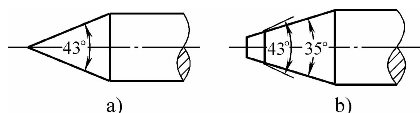


图 6-53　毛坯前端形状
a）1 段锥形　b）2 段锥形

6.5　摆辗挤压

各类民用机械设备、采矿挖掘机械等装备上的各种液压缸、气压缸（以下简称压力缸）及高压容器（钢瓶），结构形式多样，用途各有不同。它们的共同点主要是工作时承受内胀力，大多是采用高强度低合金结构钢、中碳优质结构钢或优质高强度有色金属材料等制造的。

压力缸的传统加工方法是金属切削，一般都按零件的最大外形尺寸加工到所需的尺寸精度。这种方法的加工周期长，电能消耗大，工时消耗多，生产率低，材料利用率低，成本高。

用压力加工技术来取代金属切削加工，特别是替换高精密的机械加工，是当代加工技术发展的目标之一。国内外都在不断地进行这些方面的研究工作。除了国内已有的热挤压工艺和强力旋压工艺以外，原苏联已研制成功一种最新颖的压力加工方法——摆辗挤压工艺，并已用于生产。

摆辗挤压工艺是挤压与摆辗两种工艺相结合的一种新技术。它可专门用来制造厚壁筒压力缸毛坯，与强力旋压工艺所制造的产品类似，但成形原理有所区别。

1. 摆辗挤压装置

原苏联的伊热夫斯克机械学院（俄罗斯）在20世纪60年代初开始研究摆动辗压工艺，主要目标是在传统的液压机上实现摆辗工艺。全俄电工技术生产工艺设计院（圣彼得堡）在传统的液压机上研究了诸如法兰盘等零件的摆辗成形，并投入生产。他们所使用的摆动辗压装置的结构形式是将上模安装在液压机的活动横梁（滑块）上，并在活动横梁的带动下作进给运动。下模部分位于液压机的工作台上。全俄电工技术生产工艺设计院研制成功的摆动辗压装置就属于这一类，现已作为商品出售。该装置的主要技术参数见表 6-11。

利用这种装置可摆辗盘类零件，如法兰盘、齿环等，也可以进行齿轮类零件的加工，还可以用来与其他设备一起建立生产流水线。这种装置在加工法兰盘时具有下列优点：

1）金属利用系数可达 0.8。

2）摆辗精度可以达到 IT9～IT12。

3）在液压机上安装这种装置只需要 15～20min。

4）与传统的冷锻工艺相比，变形力大大减小，只有其 1/10～1/5。

5）每小时可以生产 100 件摆辗件，大大提高了劳动生产率，节材、节能。

表 6-11　摆辗挤压装置的主要技术

名　　称		量　　值	
公称压力/MN		1.6	2.6
安装该机构的液压机型号		ДГ2432	ДГ2434
摆头的摆动频率/min^{-1}		150	160
最大闭合高度/mm		65	80
摆辗件最大直径/mm	钢材	100	120
	铜、铝合金	130	170
外形尺寸(长×宽×高)/mm		745×790×820	810×840×870
摆辗挤压装置质量/t		2.9	3.3

国内某大学也开展了用普通液压机作摆辗加工的试验研究。他们的试验是在3150kN四柱式液压机上安装了一套摆辗装置，除对液压机的泵站进行一些修改外，原液压机的主缸、机身、顶出缸等都得到充分的利用。整个装置是一个独立体系，其主要技术参数如下：

最大辗压力	1600kN
最大辗压工件直径	200mm
摆头倾角	3°
摆头转速	150r/min
进给量	1～3mm/r
电动机功率	30kW

图6-54是安装在公称压力为3000～4000kN液压机上的摆辗装置，它可以用来生产液压缸类零件。这种装置的摆动部分紧固于液压机的工作台上，挤压凸模9固定在液压机的活动横梁上。由于活动横梁具有往复运动的功能，所以可以保证在摆动辗压时管坯的进给。管坯放置在凹模芯块7内，由导向套6定位。箱体1内装有外周为直齿的旋转体2，并由内圈8、外圈4和凹模芯块构成组合模具固定在球形座3上。旋转体2与球形座3组成一对球面运动副。电动机通过传动带10带动齿轮轴11转动，使安装有凹模芯块7的球形座3产生圆形轨迹摆动，从而使管坯壁部发生变形。调节螺栓5可改变凹模芯块7的轴线相对于机身轴线

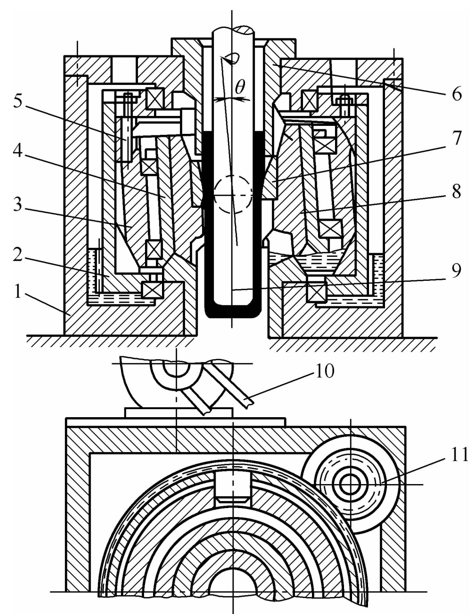


图6-54　生产液压缸类零件的液压机摆动辗压装置

1—箱体　2—旋转体　3—球形座　4—外圈　5—调节螺栓　6—导向套　7—凹模芯块　8—内圈　9—挤压凸模　10—传动带　11—齿轮轴

的倾角，调节范围为 0° ~ 10°。

摆角的大小可由下式计算后调整

$$\theta = \arctan(S/R) \tag{6-17}$$

式中　θ——凹模轴线相对于机身轴线的夹角（°）；

R——调节螺栓到冲头的轴线距离（mm）；

S——调节螺栓的调节量（mm）。

凹模芯块工作锥面锥角之最佳值为 0.25 ~ 0.35rad，大致为 45° ~ 63°，这时变形力最小。凹模芯块轴线相对机身轴线的最佳角度为 0.026 ~ 0.035rad，即 4.68° ~ 6.3°。

2. 摆辗挤压成形工艺

摆动装置的摆头以较高的摆动频率持续地作用在坯料上，使模具较多地承受了很大的不均匀弯曲应力及脉动应力，因而在设计模具时，都是将复杂的形状安排在固定模上。

摆辗挤压分冷、热摆辗挤压两种。

由于热摆辗挤压需要增加加热设备及模具的冷却装置，所以在液压机上安装摆辗装置最宜于冷摆辗挤压。利用不同结构的模具可以实现开式摆辗挤压和闭式摆辗挤压。开式摆辗挤压中摆头和凹模的最大尺寸不超过摆辗挤压件横截面尺寸的 0.2 ~ 0.3 倍，闭式摆辗挤压中的摆头和凹模的尺寸要大些，其最大尺寸不超过摆辗挤压件横截面尺寸的 0.7 ~ 1.2 倍。如图 6-55 中所列管件，均可采用摆辗挤压成形。管子横截面可以是圆形的、椭圆形的、正方形的、矩形的，也可以是带有外齿形的或内齿形的，还可以在摆辗挤压时使外径变化而内径不变化，或外径不变化而内径变化，或内、外径都变化（壁厚不变），也可以摆辗挤压成形带底的管状容器。

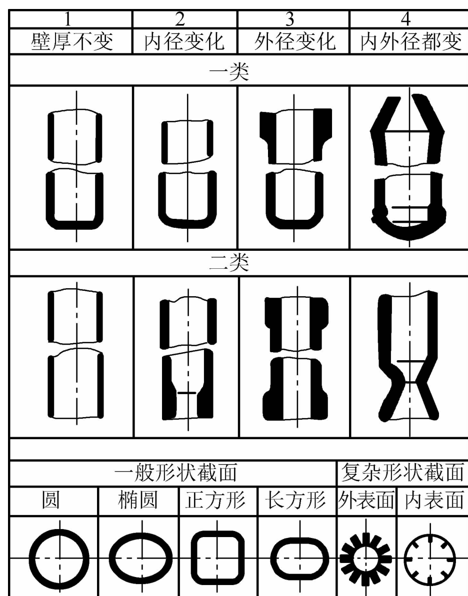


图 6-55　在液压机上摆辗挤压生产的管状零件

图 6-56 所示为普通液压机上通过摆辗装置进行管子扩口加工。管子安装在具有回转运动的下模中，与下模一起绕机身轴线转动。上模部分是具有锥角为 2α 的锥形摆头，在液压机的活动横梁（滑块）的带动下作进给运动。通过电动机使摆头绕自身的轴线转动，这样摆头的转动与凹模的回转在空间描绘出一个圆锥形包络面，这一包络面即与管件扩口所需要的形状相等。摆头相对于凹模的轴线倾斜角 θ 为

$$\theta = \gamma + \alpha \tag{6-18}$$

式中　θ——摆角（°）；

γ——工件的角度（°）；

α——摆头的顶锥角（°）。

这样，上模（摆头）一开始就与管坯局部接触，并在压力的作用下产生局部连续变形，从而得到具有锥角为 2γ 的管口。这种装置还可完成收口工艺，只需将上模改变为向内凹的形式即可。注意 θ 角不能太小，最佳值为 15°。在 θ 角小的情况下收口时，容易起皱。

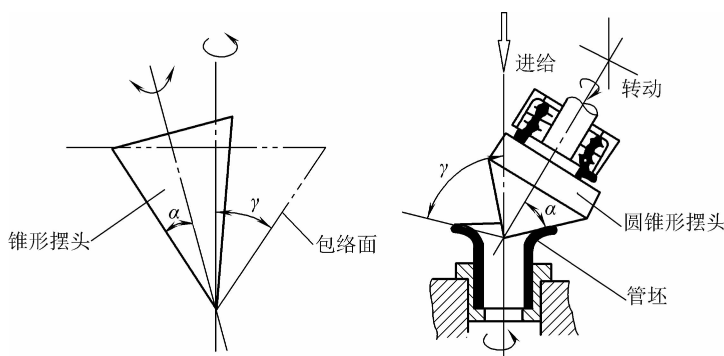


图 6-56　在液压机上进行摆辗扩孔

制造压力缸的摆辗挤压工艺比强力旋压工艺优越。首先它可以节省价格昂贵的旋压设备投资；特别是可以生产高精度、低表面粗糙度的摆辗挤压件。一般外径极限偏差达 ±0.3mm，内径极限偏差达 ±0.1mm、长度极限偏差达 ±5mm。外表面粗糙度 Ra 为 1.6μm，内表面粗糙度 Ra 为 0.32μm，直线度误差为每 500mm 不大于 0.15mm。

3. 压力缸缸体摆辗挤压工工艺的应用实例

图 6-57 为 35Cr 钢缸体（毛坯为热处理状态）的工艺流程图。热轧钢管的直径为 ϕ102mm，壁厚为 17mm，经过车削，制成图 6-57a 所示的毛坯。为了便于凸模工作，用滚压凹模将钢管端部缩颈（第一工步，见图 6-57b）。在第二、三工步中（见图 6-57c、d），管壁变薄的变形程度分别为 39% 及 41%（总变形程度为 64%），每一滚压周期的送进量是 2 ~ 5mm。

冷摆辗挤压适用长而壁薄的压力缸（见图 6-58）。每次壁厚的挤压变形程度可达 60% ~ 65%，凹模的最佳工作锥角是 0.25 ~ 0.35rad，此时的变形力最小。凹模轴线相对于加工轴线的最佳倾角 θ 为 0.026 ~ 0.035rad。工序间进行

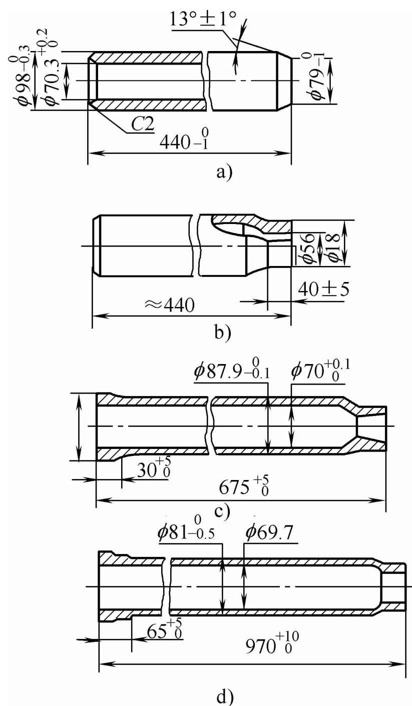


图 6-57　35Cr 钢缸体的工艺流程图

磷化处理。挤压凸模、摆辗凹模用 Cr12MoV、4Cr4WMoVSi 模具钢制造，其热处理硬度相应为 58 ~62HRC 及 62 ~64HRC。

热摆辗挤压适用短而壁厚的压力缸（见图 6-59）。每次壁厚的挤压变形程度可达 70% ~80%，模具采用二硫化钼水基润滑。挤压凸模及摆辗凹模用 W6Mo5Cr4V2 或 4Cr5W2VSi 模具钢制造，其热处理硬度分别为 50 ~52HRC 和 52 ~54HRC。

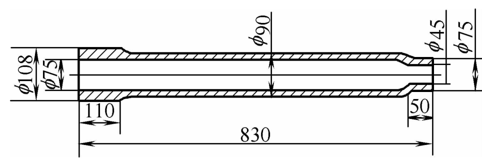


图 6-58　冷摆辗挤压工艺制造的压力缸

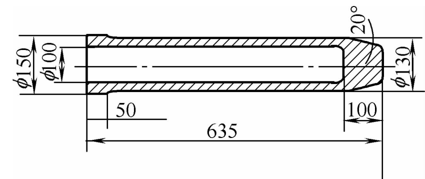


图 6-59　热摆辗挤压工艺制造的压力缸

以上两种不同的压力缸（No. 1 和 No. 2）分别采用冷、热摆辗挤压工艺与金属切削工艺的经济效果比较见表 6-12。

表 6-12　冷、热摆辗挤压工艺与金属切削工艺的经济效果比较

项　　目	压力缸 No. 1		压力缸 No. 2	
工艺方案	切削工艺	冷摆辗挤压	切削工艺	热摆辗挤压
毛坯尺寸/mm	管坯 108 ×25 ×830	管坯 108 ×25 ×500	圆柱坯 ϕ150 ×635	圆柱坯 ϕ150 ×250
零件质量/kg	9.4	9.4	19.0	19.0
毛坯质量/kg	56.46	33.8	88.04	34.66
材料利用率(%)	17	28	21	59
总劳动量/h	250.7	183	1620	1340
机械加工量/h	195	120	1100	750

由表 6-12 可见，摆辗挤压制造压力缸的经济效果是十分显著的。

此外，摆辗挤压还有如下两个特点：

1）由于毛坯在加工过程中发生强化，所以，可用低合金钢及碳钢代替合金钢。

2）摆辗挤压容易保证产品的内在质量，因为有夹层、微裂的材质会在摆辗挤压过程中被撕裂破坏，挤不成产品。

6.6　微型零件的挤压

1. 概述

随着微型零件在微机电系统、通信、电子、宇航、军工、医疗器械等领域的应用越来越多，微制造技术越来越引起人们的关注。近年来，微成形技术发展迅速，许多国家

的专家和学者致力于微成形技术研发，并且取得了很大的成就，如设计出桌面式微成形系统（desk-top microforming sysyem）。这些系统主要用于挤压、冲压、拉深、注塑制品等成形，以及光刻、腐蚀（刻蚀）、沉积、封装等。

在各种产品组合中，零件可按尺寸大小可分微型（<1mm）、小型（1~10mm）、中型（>10~100mm）、大型（>100~1000mm）及超大型（>1000mm）五种。目前，中间段零件的尺寸，即小型、中型和大型的零件，通过各种加工方法基本上都可能完成；其他两个极端的零件尺寸，即微型和超大型的零件，不仅在加工成形方面，而在检验尺寸方面和传送、运输方面都存在着各种各样的问题。这样，越来越精密化的市场需求，对生产企业也进一步提出了更高的加工精密技术要求，使高精密微型成形模具的制造能力成为企业的核心竞争力。

2. 微成形工艺的分类

根据所成形材料的状态，微成形工艺的分类如下：

1）固态成形：①体积成形，包括模锻、正反挤压、压印等；②板材成形，包括拉深、冲裁、弯曲、胀形、缩口等。

2）流体成形：塑料注射成形、金属和陶瓷粉末注射成形、铸造等。

体积成形的微零件主要有微齿轮、阀体、螺钉、顶杆、泵和叶片等。微形零件的精密微塑性成形工艺可以成形出模数为0.1mm，分度圆直径分别为1mm和2mm的微型齿轮，并组装出减速比为1/128的微型减速装置。图6-60所示为冷镦挤微型零件，图6-61所示为冷挤压微型零件。

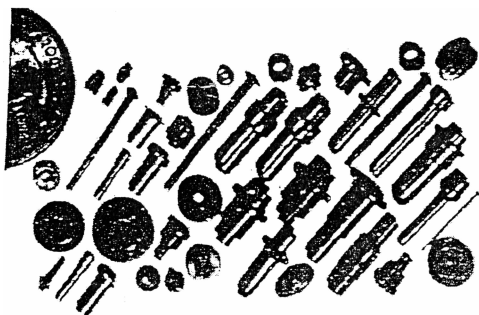


图6-60　冷镦挤微型零件

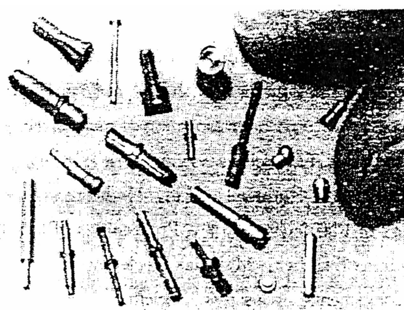


图6-61　冷挤压微型零件

3. 微型零件的应用实例

（1）机械及军工方面

1）直径1mm微马达。图6-62所示为1mm微马达的照片，右边是一粒芝麻来作大小比较，旋转时最大转速为18000r/min，仅为12.5mg。

2）直径2mm微减速器。图6-63所示为2mm微减速器的照片，齿轮模数为0.03mm，减速比为4.42。该减速器是目前国际上模数最小的行星齿轮减速器。

3）直径4mm微型泵。图6-44所示为微型泵的照片，用直径2mm微马达作为驱动源，最大流量达12.6mL/min，泵体直径为4mm。

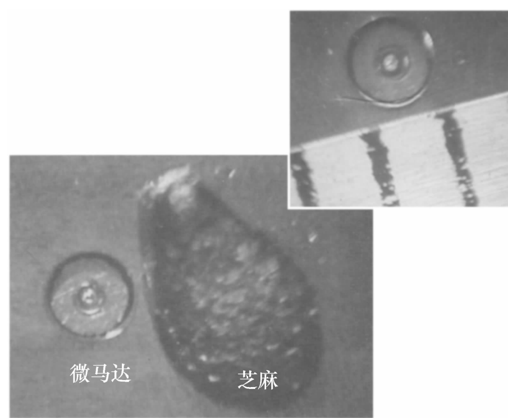


图 6-62　微马达

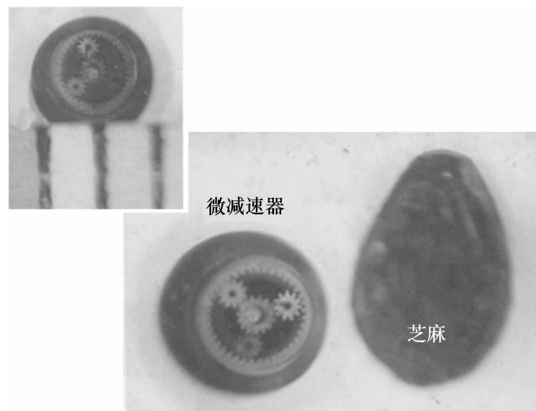


图 6-63　微减速器

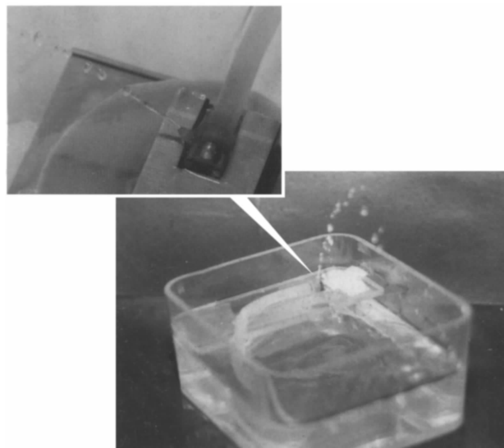


图 6-64　微型泵

4）微型汽车。图 6-65 所示为外形尺寸（高 × 宽 × 长）2mm × 2mm × 3mm 的微型汽车照片，以两个直径 2mm 微马达作为驱动器，能负重 170mg 行驶。

5）微型电脑密码锁。美国山迪国家实验室研制出由六个微细密码齿轮组成的微型电脑密码锁，齿轮直径仅是 300μm，齿轮是由电磁动力推动，外形尺寸（长 × 宽）为 9mm × 4mm，目前是世界上最小，最稳固的微型电脑密码锁。

6）微型摄影飞机。图 6-66 所示为荷兰最新研制出世界上最小的微型摄影飞机，翼展长 4in（约 10cm），重量仅 3g，它看上去更像是一只蜻蜓，尤其是拍打翅膀飞行时的样子。它可以携带微型摄影仪，将实时观测到视频影像传输到地面联络站。

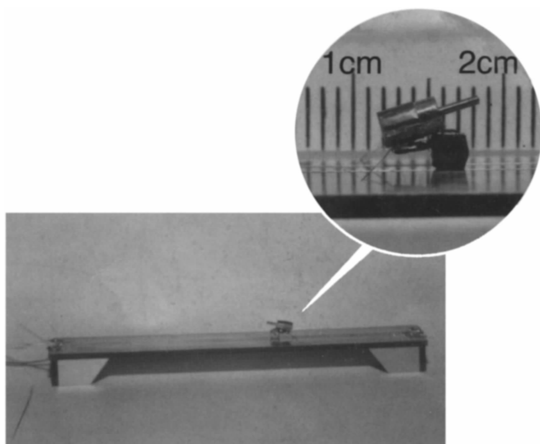


图 6-65　微型汽车

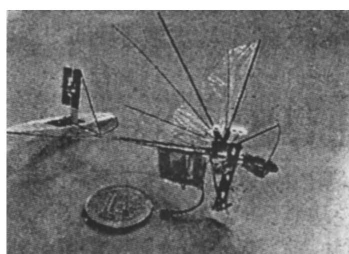


图 6-66　微型摄影飞机

7）微型飞行器如图 6-67 所示。

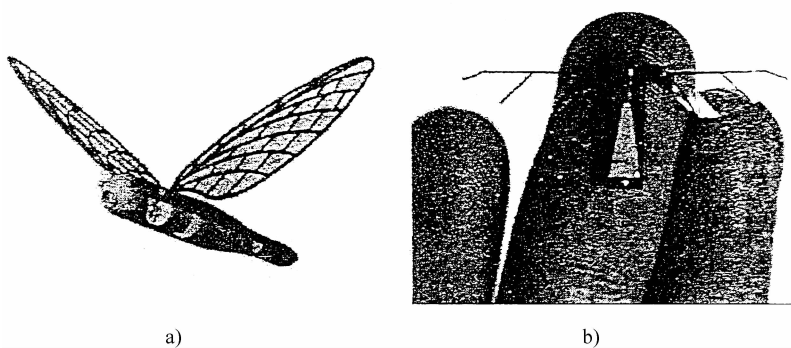


图 6-67　微型飞行器
a）实物　b）在手指上

8）微型直升飞机。图 6-68 所示为目前世界上重量最轻的微型直升机外形照片，右上角用一棵长生果来作大小比较，机长为 18mm，高度为 5mm，重量为 100mg，以两个

直径 2mm，微马达作为驱动器，能离地垂直飞行。该机由数万个零件组成。

9）微型战斗机器人。图 6-69 所示为 23cm 高微型战斗机器人外形照片，它由 2 千多个零件组成。

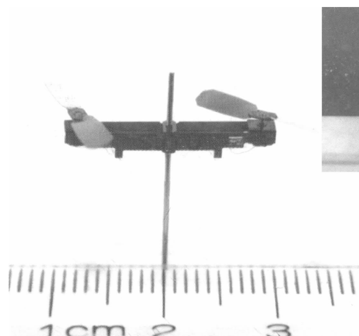


图 6-68　微型直升飞机

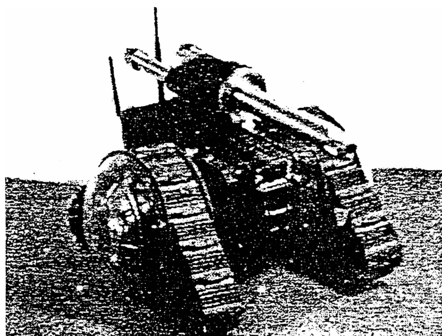


图 6-69　23cm 高微型战斗机器人

（2）医疗器械方面

1）心脏起搏器。

2）人工胰装置。主要有传感器和胰岛素齿轮泵组成。

3）追杀癌细胞的微小机器人如图 6-70 所示。

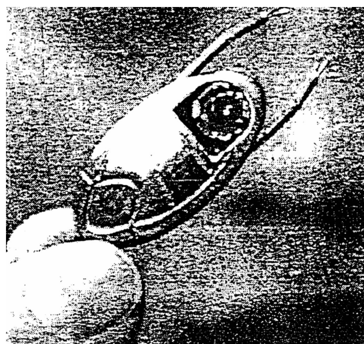


图 6-70　追杀癌细胞的微小机器人

4. 微塑性成形系统

随着零件几何尺寸的减小，对成形设备提出了更高的要求。微成形时设备行程一般为毫米级，精度达到微米级，传统的成形装置无法满足微成形的需要，这就要求针对微成形的特点来研制微成形设备。目前，微成形设备方面的研制工作刚刚开始，还没有商业化的成形设备。日本某一课题组研制了基于压电陶瓷驱动的反挤微成形系统，如图 6-71 所示。该系统由多种传感器和计算机构成测量和控制单元，可以对成形过程中多个参数进行实时控制。利用该系统已经反挤成形出微型齿轮件。驱动采用全新的设计理念，并研制了基于线性马达驱动的成形设备，直线马达可以实现与定子无接触运动，且加载速度快，控制精度适用于多种成形工艺。

日本一家技术公司也研制了类似的设备，如图 6-72 所示的一套箔材成形增量成形系统。该系统成形过程由计算机控制的微型冲头来完成，可以完成多种微型挤压、镦挤等加工。

微型零件成形的特点是采用一套精密微塑性成形系统，设计了宏动与微动相结合的驱动系统，微动部分使用压电陶瓷作为驱动器，宏动部分采用精密丝杠旋钮。借助计算机程序进行数据实时处理和传递，使用专门设计的成形工艺控制器可以实现对成形过程

的实时精确控制。

（1）精密微塑性成形系统结构设计　根据微塑性成形的特点，设计了微塑性成形系统，如图 6-73 所示，系统实物图如图 6-74 所示。该系统由驱动模块、测量和成形控制模块、温度控制部分及微成形模具等部分组成。

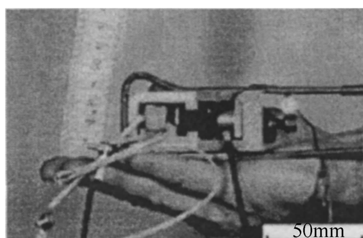


图 6-71　反挤微成形系统

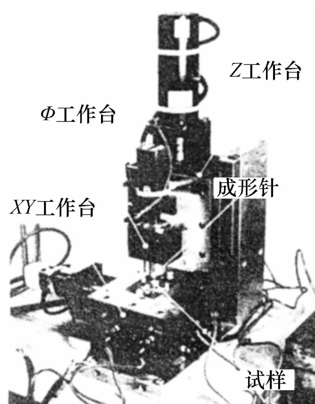


图 6-72　增量成形系统

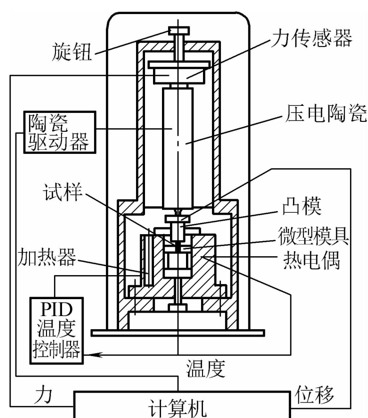


图 6-73　精密微成形系统

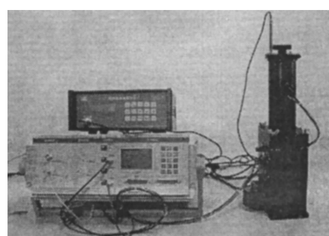


图 6-74　精密微成形系统实物图

驱动部分采用压电陶瓷作为驱动器，压电陶瓷的理想输出特性为

$$V_t = nd_{31}U + K_\delta F \tag{6-19}$$

式中　V_t——厚度方向的变形量（μm）；

d_{31}——厚度方向上的耦合系数；

U——外加电压（V）；

K_δ——压电陶瓷刚度（N/μm）；

F——外力（N）；

n——压电陶瓷叠堆层数。

在理想情况下，力、位移与电压呈线性关系，但是由于压电陶瓷的迟滞性和蠕变等特性，使得压电陶瓷的输出呈非线性，但可以通过施加迟滞算子等方法来改进。压电陶瓷的输出位移精度可以达到纳米级，能够满足微成形工艺对位移高控制精度的要求；同时，为解决压电陶瓷输出位移量小而成形变形量相对较大的矛盾，设计了宏动/微动相结合的驱动系统，宏动部分采用精密丝杠旋钮来实现，这是该精密微塑性成形系统的一大特点。

测量和成形控制模块是对成形过程中的工艺参数进行检测，并反馈给控制器形成闭环控制，以及进行数据处理和纪录的模块。该部分的测量量为载荷和位移，分别由力传感器和 LVDT 位移传感器来实现。成形过程控制由两部分组成，分别是压电陶瓷驱动器和成形过程控制器。成形过程控制器是一个程序模块，完成成形过程中工艺参数的输入、整理，并形成指令传给驱动器；压电陶瓷驱动器由驱动电源、通信模块等部分组成，根据控制模块的指令完成相应的动作。该模块可以实现对各个工艺参数的高精度测量和控制，自动化程度高，国外研制的微塑性成形系统大部分也采用类似的方法。

温度控制部分包括加热器和恒温 PID 控制器，加热器安装在模具装置内，可以对模具与坯料同时进行加热，并在成形过程中保持等温条件。成形模具装置还包括微型模具、冲头等部件，可以根据需要进行更换。该系统的最高成形温度为 500℃。

（2）精密微塑性成形系统控制系统设计

1）精密微塑性成形系统控制器。精密微塑性成形系统的控制部分由成形工艺控制器、压电陶瓷驱动器和力、位移控制等几部分组成，该系统的控制框图如图 6-75 所示。成形工艺控制器将输入的控制参数转化成指令，通过压电陶瓷控制器来控制压电陶瓷的动作。成形工艺控制器以电阻应变片检测的压电陶瓷输出位移作为反馈信号来实现对压电陶瓷的闭环控制，并将输出位移量传给成形工艺控制器作数据处理和记录。成形过程中的力和模具进给位移分别由力传感器和 LVDT 位移传感器检测并反馈给成形工艺控制器，实现对微成形过程的闭环控制，同时进行数据的处理和记录。

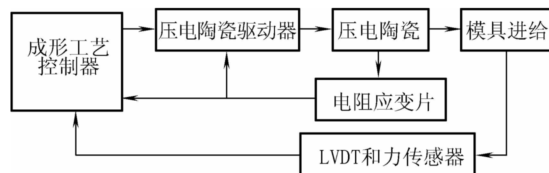


图 6-75　精密微成形系统控制框图

2）精密微塑性成形系统工作方式。精密微塑性成形系统是一套精密微塑性成形的专用设备，要求其能够按照一定的工作方式来完成微型件的成形。根据微成形的需要设计了两种工作模式：恒速度控制方式和恒力控制方式。

恒速控制模式是系统以设定的速度匀速加载的工作模式。由于压电陶瓷是以步进方式工作，只能以拟合方式来逼近匀速运动。在该工作方式下的控制参数有速度、步进频率、保压时间和保压力值等。速度和进给频率的比值决定压电陶瓷的进给步长，可以通

过增大进给频率来减小步长以增加拟合精度。精密微成形系统恒速控制模式工作流程为：首先需要手动调节使得压电陶瓷与凸模紧密接触，然后压电陶瓷按恒速控制模式加载；当压电陶瓷输出位移达到最大时停止加载，由手动调节旋钮推动压电陶瓷移动使其与凸模紧密接触，然后进入下一个工作循环。这样由压电陶瓷和手动调节交替工作来完成成形过程。恒速控制流程图如图 6-76 所示。

恒力控制模式与恒速控制类似，只是少了进给频率的限制，压电陶瓷瞬间输出较大位移，将设定的载荷施加到模具上。但实际上由于控制程序运行周期的存在，决定其有一定的时间延迟。恒力控制流程图如图 6-77 所示。

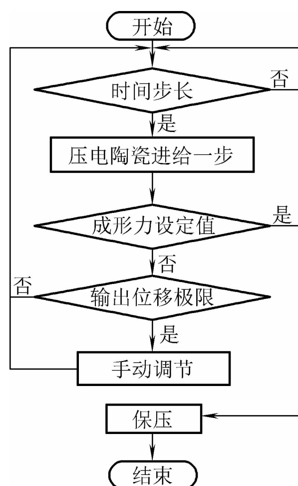


图 6-76　恒速控制流程图

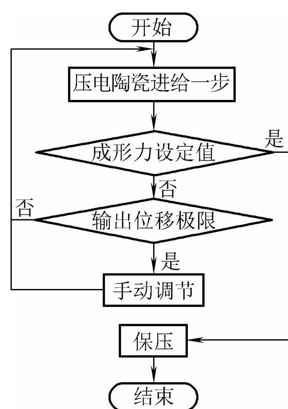


图 6-77　恒力控制流程图

（3）微型挤压成形模具结构设计

1）微型齿轮零件的成形方法。从上述介绍的应用实例可见，这些零部件基本上都是由形状尺寸和参数不同的微型螺钉、微型齿轮等微型零件组成的。按所选用的材料不同，微型齿轮零件成形方法主要有：①微型冷挤压；②微型热挤压；③微型等温挤压；④微型超塑性挤压；⑤微型半固态挤压。

2）微型齿轮零件的成形模具设计。借鉴传统的模具设计方法，结合微成形的特点，设计适合微小型成形模具。首先要求模具关键尺寸尽可能小，但模具尺寸也必须满足强度校合，因而模具不能设计得过小，还要考虑电阻加热设备功率要求，以确保模具能够被加热到高温，又可以降低模具内外层温差以降低测温误差。此外，尺寸和形状精度必须考虑现有加工设备条件。图 6-78 所示为微型挤压模具结构。

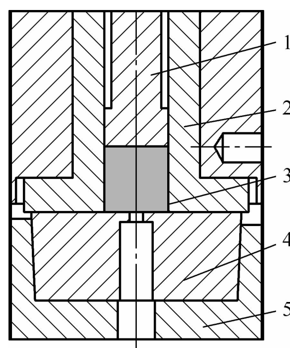


图 6-78　微型正挤压模具结构
1—凸模　2—筒套　3—毛坯
4—凹模　5—凹模座

模具的装配是通过 4 个 M8 的内六角螺钉固定。

模具采用了可卸筒套，便于采用改变挤压比进行多组试验。该模具利用多个尺寸的限位环，控制凸模的有效行程，对不同高度的毛坯进行挤压。模具关键部位是凹模，它的设计和制造决定了挤压件的形状、尺寸和质量。考虑到制造和加工工艺，即采用机加工和线切割方法制造高精度和特殊形状的凹模，采用两个分块模具组合成凹模。

凹模置于下模座孔中，通过侧面进行配合和对中，再通过上模座施压进行固定。为了让筒套的中心和凹模孔中心重合，避免偏挤压情况发生，导致挤出齿轮因流动不均发生轴线弯曲，上、下模座采用其内、外侧面进行对中。

加热装置为一个加热圈，额定功率为800W。外层为不锈钢材料，中间层为沿圆周排列的有孔陶瓷件，电阻丝穿于陶瓷件孔中，两层之间为一层硅胶绵，进行部分隔热。陶瓷具有很好的耐高温性能和绝缘性能，确保加热到高温的可行性和安全性。加热圈放置于模具中间部位，按要求温度进行加热。

①凹模设计。微型齿轮凹模如图6-79所示，主要尺寸参数为：分度圆直径为1mm，模数为0.1mm，齿数为10个。坯料直径为0.7mm，高度为1mm。齿轮材料选用纯铝1200，成形工艺在等温条件下进行，坯料和模具温度为400℃，凸模速度为2μm/s。成形出轮廓清晰的微型齿轮件，其照片见图6-80所示。

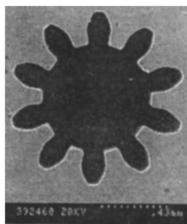


图6-79　微型齿轮凹模

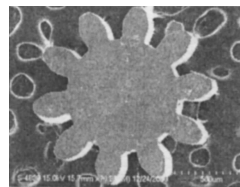


图6-80　微型齿轮件

②挤压成形的载荷-行程曲线。微形齿轮挤压成形的载荷-行程曲线如图6-81所示。

通过对载荷-行程曲线的分析，将微型齿轮的成形过程分为3个阶段：第Ⅰ阶段（*OA*），是变形的初期阶段，坯料的变形是镦粗变形。第Ⅱ阶段（*AB*）为齿腔充填阶段，坯料开始向齿腔内填充。随着坯料对齿腔填充程度的增加，变形抗力和摩擦阻力增加，在载荷-行程曲线上表现为随着凸模行程的增大载荷增大。该阶段是微型齿轮成形的主要阶段。第Ⅲ阶段（*BD*）为最后充满阶段，金属已经基本充满齿腔，坯料流动困难，填充阻力迅速增加，导致成形载荷急剧上升。

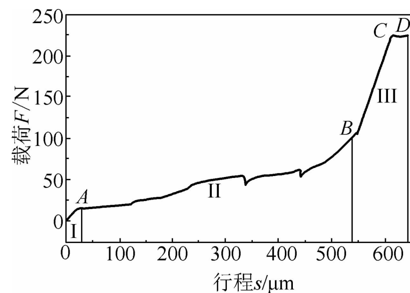


图6-81　微型齿轮挤压成形的载荷-行程曲线

第 7 章　温挤压技术

温挤压成形技术是近年来在冷挤压成形基础上迅速发展起来的一种少无切屑塑性成形新工艺，又称温热挤压。它与冷、热挤压不同，挤压前已对毛坯进行加热，但其加热温度通常认为是在室温以上、完全再结晶温度以下的温度范围内。对温变形的温度范围目前还没有一个严格的规定。有时把变形前将毛坯加热，变形后具有冷作硬化的变形，称为温变形。或者，将加热温度低于热锻终锻温度的变形，称为温变形。从金属学观点来看，区分冷、热加工可根据金属塑性变形后有无加工硬化现象存在来决定似乎更合理些。在金属塑性变形后存在加工硬化现象的过程称为冷变形及温变形。变形后不存在加工硬化现象的过程称为热变形。目前，常见的温挤压温度范围，钢铁材料是 200～850℃（其中，奥氏体不锈钢是 200～400℃）；铝及铝合金是室温到 250℃；铜及铜合金是室温到 350℃。也就是说，基本上处于金属的不完全冷变形与不完全热变形的温度范围。对某种具体材料的温挤压塑性成形温度，随着变形速度、变形程度以及产品的性能要求不同也不尽相同。

7.1　温挤压的优缺点及其应用范围

温挤压成形不仅具有冷挤压与热挤压成形的优点，而且也避免了它们各自的缺点。

1. 温挤压的优缺点

（1）温挤压工艺的优点

1）温挤压成形时，毛坯的变形抗力比冷挤压小，金属塑性成形比冷挤压容易，所需的压力机吨位也较小。

2）与热挤压工艺相比，由于温挤压毛坯的加热温度较低，氧化、脱碳的可能性大为减小，因此，温挤压件的尺寸精度和表面粗糙度皆比热挤压件有明显改善。

3）由于温挤压前毛坯的加热温度一般不超过再结晶温度，因此，挤压件的力学性能与冷挤压件相当。

4）温挤压前或工序之间不需要进行软化退火处理。这不仅可以减少工序数，而且还为连续自动化生产创造了有利条件。

5）温挤压成形可以采用加大变形量的挤压工艺，可以顺利成形一些非轴对称异形件。这就大大地扩大了挤压技术的使用范围。

（2）温挤压工艺的缺点　温挤压工艺虽显示出很多的优点，但在实际生产中，也遇到一些缺点。

1）对具体的产品材料来说，温挤压成形的变形温度难以控制。变形温度过高，超出再结晶温度，影响产品的力学性能；变形温度过低，既会影响成形，又加大了挤压

力。为此，在设计温挤压工艺时，要预先进行温挤压变形的温度试验，才可精确选用合理的温挤压温度。这样就大大增加了工艺试制周期。

2）由于各种材料的温挤压温度相差较大，至今还没有完全解决适用的温挤压润滑剂的问题，这就影响了温挤压成形技术的大力推广。

钢在温挤压成形时，与冷挤压、热挤压的技术经济比较如表 7-1 所示。

表 7-1　热、冷、温挤压的技术经济比较

项　　目	变　形　方　法		
	热挤压	冷挤压	温挤压
变形温度范围/℃	850 ~ 1200	室温	200 ~ 850
产品精度/mm	±0. 5	±（0. 03 ~ 0. 25）	±（0. 05 ~ 0. 25）
工件组织	晶粒粗大	晶粒细化	
工件表面质量	严重氧化、脱碳	无氧化、脱碳	几乎没有氧化、脱碳
工序数量	少	多	比冷挤压少
能量消耗	大	少	较少
劳动条件	差	好，难于组织连续生产	好，易于组织连续生产

2. 温挤压的应用范围

从上述分析可以看出，温挤压兼有冷、热挤压的优点，克服了冷、热挤压的不足之处，因此，其广泛应用于以下几个方面。

1）冷挤压变形时硬化剧烈或者变形抗力高的不锈钢、高碳高合金钢、轴承钢和工具钢等。

2）冷挤压变形时塑性差、易产生开裂的材料，如超硬铝合金 7A04、铜合金 HPb59-1、精密合金（Mn-Al-C）、钛合金等。

3）冷挤压难成形，热挤压时产生严重氧化、吸气的材料，如钛、钼、铬等。

4）形状复杂，变形程度大的零件，或为了改善产品综合力学性能时。

5）现有设备能力不足，零件尺寸较大，以及为便于组织多工位连续生产，而采用温挤压。这样，可以取消冷挤压时的软化处理、磷化处理等。

因此，在材料方面，温挤压的应用范围还是较广泛的，它既可用于制造金属零件，也可以用于制造模具型腔。纯铁、20 钢、20Cr、40Cr、GCr15、12CrNi3、30CrMnSiA、20Cr13、40Cr13、12Cr18Ni9、18Cr2Ni4WA、T8A、T10A、Cr12MoV、W6Mo5Cr4V2、高温合金 GH1140 以及难于冷挤压成形的铅黄铜 HPb59-1 等材料均已能成功地进行了温挤压成形加工。

目前，采用温挤压方法或与温锻结合工艺已经生产出一大批零件。这些零件包括紧固件、齿轮、阀、活塞、气缸、扳手、轴承套圈、手表壳、万向节头、后车轴、微电机壳体、涡轮发动机环套零件、汽车轮胎螺母等。这些零件原先或者用热挤压、冷挤压和

冷锻或者用机械加工生产。实际生产证明，采用温挤压工艺后，均取得了较好的技术经济效益。

7.2　温挤压温度的选择

由于具体的产品对象不同，挤压件的变形程度不同，设备条件不同，对产品的性能、尺寸精度要求、表面粗糙度要求不同，所选择的温挤压温度也会有所不同。因此，在选择温挤压温度时应需考虑如下几方面。

1. 对材料变形抗力和塑性的影响

除了塑性较低的材料以外，主要是考虑温度对材料变形抗力的影响。希望选择在变形抗力变得较小的温度或者越过较大变形抗力的温度下进行加工。

图 7-1 所示为碳钢的加工温度与压缩变形抗力的关系曲线。由该图可见，这组曲线的总趋势是，温度越高，变形抗力越低。而且，碳含量高的钢，其变形抗力随温度的提高而下降的程度比碳含量低的更要显著一些。

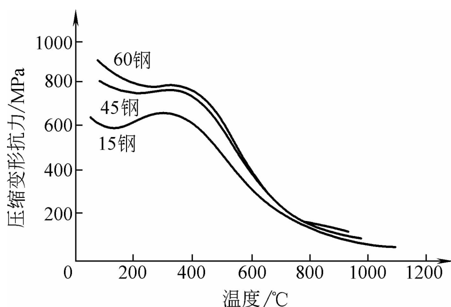


图 7-1　碳钢的加工温度与压缩变形抗力的关系曲线

注：应变速率 $\dot{\varepsilon}=0.1\mathrm{s}^{-1}$，压缩率 $\varepsilon_h=0.3$。

这组曲线是在应变速率很小的情况测出的。应变速率为 $0.1\mathrm{s}^{-1}$，可视为静变形。由图 7-1 可见，在 300℃左右，变形抗力有回升现象，这就是蓝脆现象。在蓝脆温度范围内，材料塑性也较差。

金属材料出现蓝脆的温度范围与应变速率有密切关系。当应变速率增加时，蓝脆区域向温度高的方向移动，如图 7-2 所示。这时，变形抗力比应变速率低的时候要下降一些。由图 7-2 可见，15 钢在应变速率为 $40\mathrm{s}^{-1}$时，蓝脆出现在 450℃以上，应变速率 $40\mathrm{s}^{-1}$，是与在曲柄压力机上实际挤压生产的应变速率相一致的。在液压机上温挤压时的应变速率可以参照所谓静变形时的应变速率。这样也就可以预测在液压机上温挤压时蓝脆出现的大概温度。

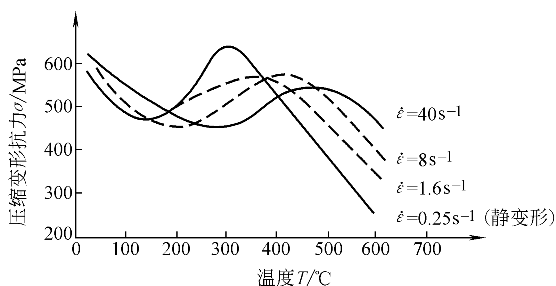


图 7-2　15 钢在各种应变速率下加工温度与压缩变形抗力的关系曲线

低、中碳钢，低合金钢（如 15CrMn、35CrMo、30CrMnSi）和轴承钢 GCr15 都存在蓝脆现象。其中以低碳钢最为明显。在中合金钢和高合金钢、工具钢、不锈钢和高温合金中因合金元素含量较多的影响，使蓝脆现象不明显或消失。

典型的各类材料变形抗力和

塑性指标与温度的关系曲线，如图 7-3 ~ 图 7-9 所示。这些曲线是用拉伸试验得出的。拉伸夹头速度符合静力试验要求。

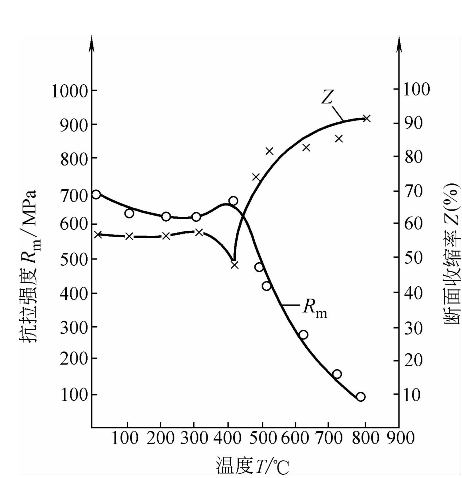


图 7-3　45 钢在各种温度下的力学性能

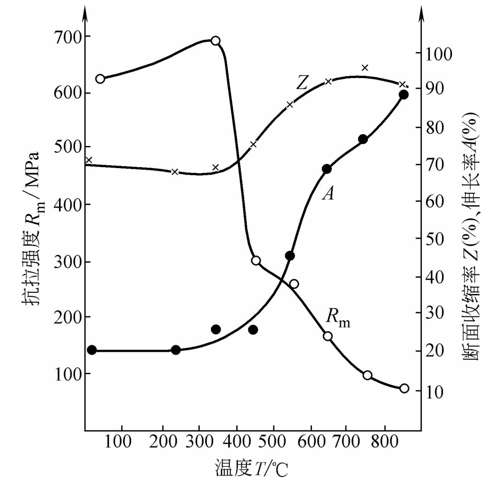


图 7-4　30CrMnSiA 钢在各种温度下的力学性能

注：原材料为退火状态。

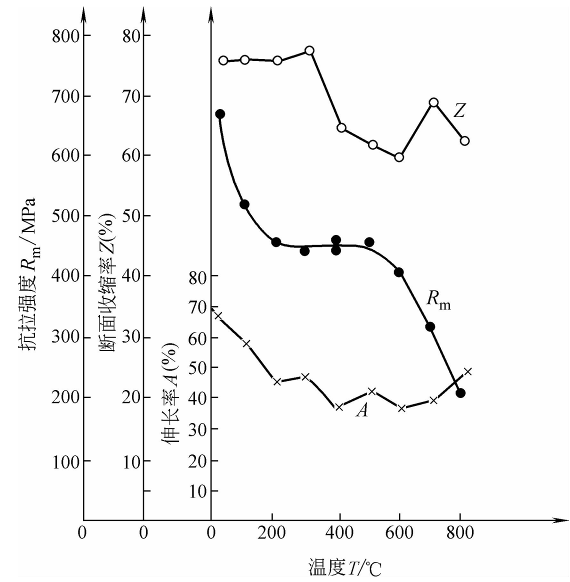


图 7-5　12Cr18Ni9 不锈钢在各种温度下的力学性能

注：试样经 1100℃，保温 8 ~ 10min，在开水中淬火，硬度 130HBW。

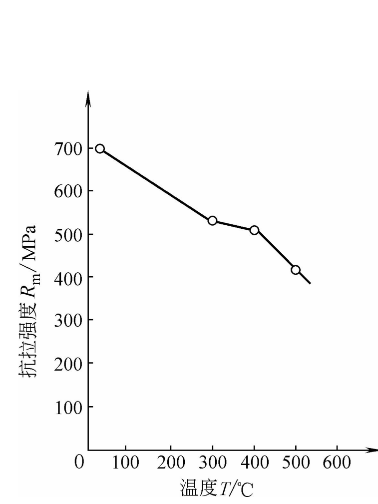


图 7-6　20Cr13 不锈钢的温度-强度曲线

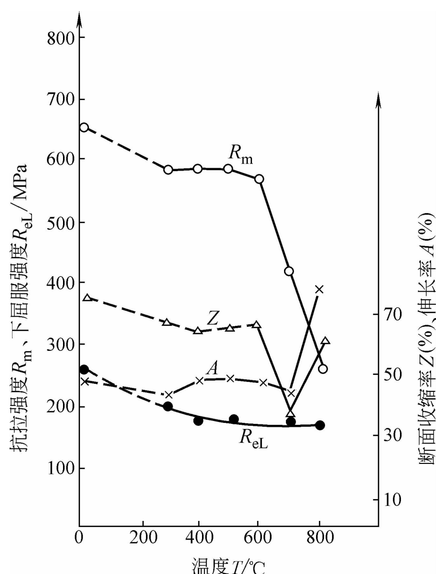


图 7-7 GH1140 高温合金在各种温度下的力学性能

注：试样经 1050℃加热，保温 10min，冷水中冷却。

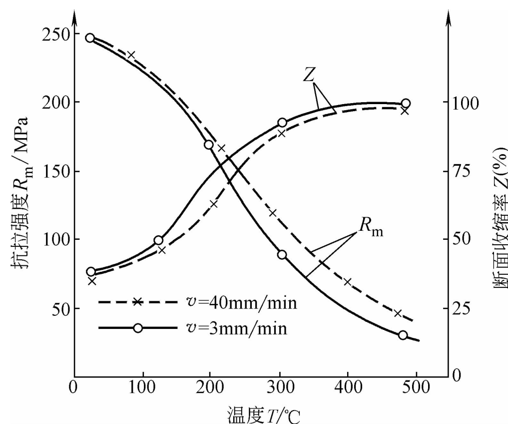


图 7-8 2A12 硬铝在各种温度下的力学性能

注：试样经 410℃加热，保温 3h，炉冷退火。

（1）碳钢 图 7-3 表示出了 45 钢在各种温度时的力学性能变化。由该图可见，抗拉强度 R_m 从室温到 300℃略有下降，在 300 ~ 450℃之间，出现上升峰值，这一区间就是蓝脆区。过了蓝脆区，R_m 下降较为剧烈。至 650℃，R_m 约为 200MPa；至 800℃约为 100MPa。与此同时，塑性指标明显上升。为了降低变形力，加热温度应高于蓝脆区。

（2）合金结构钢 图 7-4 表示出了合金结构钢 30CrMnSiA 在各种温度时的力学性能变化。在 300℃左右出现蓝脆。过了蓝脆区，抗拉强度 R_m 剧烈下降。

（3）奥氏体不锈钢 图 7-5 表示出了奥氏体不锈钢 12Cr18Ni9 在各种温度下的力学性能。由该图可见，从室温升至 200℃时，抗拉强度 R_m 急剧下降，而在 200℃升至 500℃时，抗拉强度几乎不发生变化，在高于 500℃以后又开始急剧下降。因此，如仅从温度对变形抗力的影响来看，对奥氏体不锈钢的温挤压温度不是选在低温范围 200℃左右，就应选在 500℃以上。

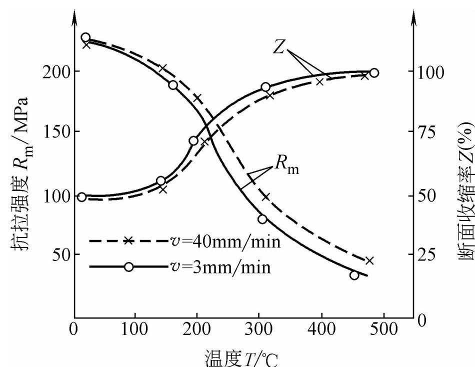


图 7-9 7A04 超硬铝金力学性能与温度的关系

注：试样经 410℃加热，保温 3h，炉冷退火。

（4）马氏体不锈钢 20Cr13 马氏体不锈钢的温度-强度关系曲线如图 7-6 所示。

由该图可见，在高于 500℃时，抗拉强度 R_m 明显下降。为了获得较低的变形抗力，应在 600℃以上作温挤压变形。

总之，Cr13 型不锈钢温挤压时，为了获得较低的变形抗力，应选择温挤压温度高于回火温度（即 600～700℃）。这时，显微组织为 $\alpha + M_{23}C_6$ 两相（M 代表金属元素）。

14Cr17Ni2 不锈钢在各种温度下的力学性能如表 7-2 所列。由该表可见，对 14Cr17Ni2 钢来说，为了获得较低的变形抗力，也需要加热温度高于它的回火温度（即 550℃）。

表 7-2　14Cr17Ni2 不锈钢在各种温度下的力学性能（回火试样）

温度 /℃	抗拉强度 R_m/MPa	下屈服强度 R_{eL}/MPa	伸长率 A(%)	断面收缩率 Z(%)	冲击韧度 a_K/(J/cm^2)
20	1106	955	15.5	61	55
200	960	804	13.9	61.5	145
300	930	794	13.4	59.5	124
400	840	793	13.3	57.0	134
500	814	730	13.9	63.0	130
600	429	390	28.5	77.0	—

（5）高温合金　GH1140 高温合金在各种温度时的力学性能如图 7-7 所示。从室温到 300～400℃，抗拉强度 R_m 大约下降 10% 以上。在 400～600℃范围内，抗拉强度明显下降。在 800℃时，抗拉强度比室温时下降 61%。因此，从降低变形抗力的观点来看，温挤压温度应选在 300～400℃或 600～800℃范围。但是，GH1140 比 18-8 型不锈钢（例如 12Cr18Ni9）在温挤压时粘模更为严重，而且温挤压温度越高，粘模越严重。因此，在当前使用的润滑条件下，实际生产只能选在 300～400℃作为温挤压温度范围。

（6）铝合金　硬铝 2A12 和超硬铝合金 7A04 在室温时伸长率 $A<20\%$，可算为低塑性材料。图 7-8 和图 7-9 分别为 2A12 和 7A04 铝合金的力学性能与温度的关系曲线。由两图可见，随温度上升，抗拉强度 R_m 不断下降，而塑性指标不断上升。在 200℃以前，曲线变化平缓；而在 200～350℃之间，变化较快；超过 350℃，变化又趋平缓。在 250～400℃之间，抗拉强度 R_m 比室温时已大幅度下降，同时塑性指标提高。

2. 对氧化的影响

一般碳钢在 600℃以下时，氧化较缓慢，800℃以上时氧化才显著增加。图 7-10 为 15 钢在不同加热温度下的氧化情况。由该图可见，低于 800℃进行温挤压，氧化程度很小。特别是采用快速感应加热法，毛坯加热前涂固体润滑剂等有助于防止毛坯加热时的氧化。

对于不锈钢来说，700℃以前不氧化，氧化开始温度如表 7-3 所示。

总之，剧烈的氧化不仅会给挤压件带来很多不利的影响，还会使模具寿命降低。

3. 对挤压件质量的影响

1）温挤压件加热到不同的温度，毛坯材料的氧化、热胀冷缩以及模具的弹性变形

等情况不一样，但这些因素的变化都会影响温挤压件的尺寸精度和表面粗糙度。温度越高，温挤压件的尺寸精度和表面粗糙度越差。因此，从保证尺寸精度，获得低的表面粗糙度值来看，温挤压温度应尽量选低一些。

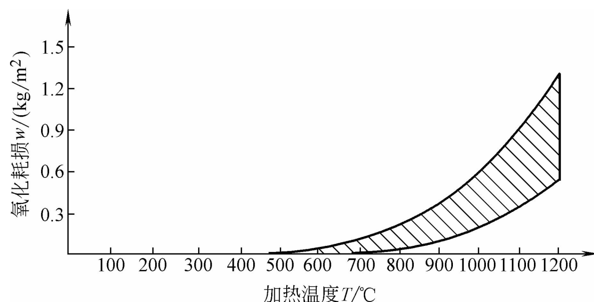


图 7-10　15 钢在加热中的氧化情况

表 7-3　几种不锈钢开始强烈氧化的温度

牌号	开始强烈氧化温度/℃	牌号	开始强烈氧化的温度/℃
06Cr13	800	14Cr17Ni2	750 ~ 800
12Cr13	700 ~ 750	06Cr19Ni10	800 ~ 870
20Cr13	750	06Cr18Ni11Ti	800 ~ 850
40Cr13	650		

2）温挤压温度一般选在再结晶温度以下，这可以通过加工硬化来提高挤压件的强度和硬度。但所选的加工温度不同，所获得挤压件的力学性能是不一样的。一般来说，加工温度越高，挤压件的强度越低。因此，从保证挤压件具有较高力学性能方面来看，温挤压温度应尽量选低一些。

4. 与其他条件的关系

1）当有大吨位的设备时，温挤压温度可选低一些，以保证挤压件具有较高的力学性能。若在高速锤上温挤压时，由于热效应特别明显，因此，温挤压温度一定要尽量选低一些。

2）温挤压温度越高，模具的抗压能力越低。但应注意的是当加工温度较低时，单位挤压力较大。因此，从保证模具具有较长的寿命方面来看，所选的温挤压温度应适中，不可偏高或偏低。

根据上述原则及生产经验，各种材料温挤压温度的具体选用推荐如下数据。

（1）钢铁材料的温挤压温度

1）10、15、20、35、40、45、50 钢和 40Cr、45Cr、30CrMnSi、12CrNi3 等低合金结构钢，在机械压力机上温挤压时，温挤压温度为 650 ~ 800℃；在液压机上温挤压时，温挤压温度为 500 ~ 800℃。15 钢在打击速度为 20m/s 的高速锤上正挤压时，温挤压温

度为 400℃左右。

2）35CrA 等调质合金结构钢的温挤压温度为 600 ~ 800℃。

3）18Cr2Ni4WA 等中合金结构钢的温挤压温度为 650 ~ 690℃。

4）T8、T12、GCr15、Cr12MoV、W9Cr4V2、W6Mo5Cr4V2Al 等工具钢和轴承钢的温挤压温度为 700 ~ 800℃。

5）20Cr13、40Cr13 等马氏体不锈钢以及 12Cr13、14Cr17Ni2 等马氏体-铁素体不锈钢的温挤压温度为 700 ~ 850℃。

6）12Cr18Ni9 等奥氏体不锈钢的温挤压温度可选 260 ~ 350℃或 800 ~ 900℃。

7）GH1140 等耐热合金或耐热钢的温挤压温度可选 300 ~ 400℃或 600 ~ 800℃。

（2）有色金属及其合金的温挤压温度

1）铝及铝合金的温挤压温度≤250℃。

2）铜及铜合金的温挤压温度≤350℃。

3）铅黄铜 HPb59 - 1 的温挤压温度为 300 ~ 400℃或 680℃左右。

4）镁及镁合金的温挤压温度为 175 ~ 390℃。

5）钛及钛合金的温挤压温度为 260 ~ 650℃。

7.3　温挤压毛坯的准备

如前所述，大多数金属材料，包括强度高、塑性差的材料在内，如高碳钢、高合金钢、不锈钢、轴承钢、工具钢、高温合金、精密合金及有色合金等，均可进行温挤压成形。

1. 毛坯形状与尺寸

与冷挤压时一样，温挤压毛坯的体积可以按照变形前后体积不变定律来计算。

为了保证产品的质量和模具寿命，毛坯的直径尺寸要基本上接近凹模模腔直径尺寸，但要考虑到毛坯加热后直径会因膨胀而增加，否则毛坯加热后可能会放不进凹模模腔。

毛坯加热后的直径 D_t 可按下式计算：

$$D_t = D_0(1 + \alpha t) \tag{7-1}$$

式中　D_0——室温时的毛坯直径（mm）；

α——材料的线胀系数（$℃^{-1}$）；

t——毛坯高于室温的温差（℃）。

常用温挤压材料的线胀系数如表 7-4 所示。

毛坯形状的确定可参考冷挤压的有关部分。

2. 毛坯加热方法

准确地控制加工温度就能保证产品尺寸的一致性。因此，油炉加热不太合适，因控制炉温较困难。采用煤气加热、电阻加热、中频感应加热等方法比较合适，便于控制炉温。

表 7-4　温挤压常用材料的线胀系数

材料	线胀系数 $\alpha/10^{-6}℃^{-1}$	材料	线胀系数 $\alpha/10^{-6}℃^{-1}$
10、20、30、40、50 钢	13.5～14.3	GCr15	13.6
20Cr	13.6	铝合金	21～40
18CrMnTi	13.8	镁合金	27～30
12Cr13	12	铜合金	16.6～20.4
12Cr18Ni9	17.6	钛合金	8～11.6

对温挤压毛坯进行加热用炉的方式，连续式比周期式好。因为它可以通过改变在炉内的停留时间（即通行速度），来控制毛坯的温度。

快速加热可以避免或减少氧化、脱碳。但是不建议使用盐浴炉，因为盐浴剂附着在毛坯上或模具上，使顶料力增加，模具磨损加速，而且后序清理模具和零件表面的盐浴剂也比较困难，因而使用盐浴炉是一种不适当的方法。

中频感应加热的优点多，加热时间短，氧化膜极薄，而且可以局部加热，安装面积小，环境清洁。

温挤压中频感应加热的频率可按下式确定：

$$f = \frac{128.5\rho}{\mu R^2 \times 10^{-6}} \tag{7-2}$$

式中　f——中频电源频率（Hz）；

ρ——电阻率，钢在 650℃时，$\rho = 85 \times 10^{-6}\Omega \cdot cm$；

μ——磁导率，钢在 650℃时，$\mu = 3.5 \sim 4.0$；

R——毛坯半径（cm）。

加热所需的电功率可根据图 7-11 确定。该图表示出了加热钢、铝、铜时所需的电功率。实际使用时必须考虑效率，即

$$P_{实} = \frac{P}{\eta} \tag{7-3}$$

式中　$P_{实}$——实际需要的电功率（kW/h）；

P——按材料种类由图 7-11 查得的电功率（kW/h）；

η——效率系数，对钢取 0.6，对铜取 0.35。

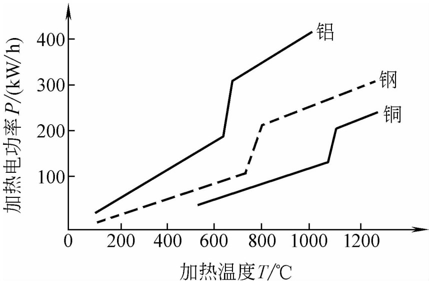


图 7-11　中频感应加热时所需的电功率

例如，若加热尺寸为 ϕ25mm×41.7mm 的钢毛坯，每个重量为 161g，温挤压温度为 650℃，试计算其中频感应加热的频率和所需的功率（每分钟生产 40 件）。

中频电源频率

$$f = \frac{128.5 \times 85 \times 10^{-6}}{4 \times 1.25^2 \times 10^{-6}}\text{Hz} = 1750\text{Hz} \approx 2\text{kHz}$$

加热电功率由图 7-11 查得在 650℃时每吨毛坯所需功率约为 100kW/h，考虑效率则

每吨毛坯所需的功率为

$$P_{实} = \frac{100}{0.6}\text{kW/h} = 167\text{kW/h}$$

因每分钟生产 40 件，每件重量 161g，所以每小时生产的零件重量为

$$40 \times 161 \times 60\text{g} = 386400\text{g} \approx 0.386\text{t}$$

实际所需的总功率为

$$P_{总} = 167 \times 0.386\text{kW/h} = 65\text{kW/h}$$

所以，应选用频率 2kHz，功率为 65kW/h 的中频加热炉。

大型零件加热时，如果采用感应加热，由于毛坯直径较大，沿截面的毛坯温度难于均匀一致。因此，可以采用中频感应加热以后，再经箱式炉均热，以保证毛坯温度沿断面均匀分布。

为了防止毛坯在加热中氧化和脱碳，可采用在惰性气体或真空中加热。但是如果受条件限制，采用一般电炉加热，若零件小，加热时间短，影响也不大。例如，曾在一般箱式电炉中加热 45 钢，加热温度为 800℃，加热时间为 20min，挤出的产品氧化膜极薄，经酸洗或喷砂后，表面仍能保持 $Ra = 1.6\mu\text{m}$；对其脱碳情况的检查表明，挤压件和原材料一样，都见不到脱碳层。又如，轴承钢 GCr15 在（700 ± 20）℃加热，温挤压轴承圈表面氧化膜极薄，脱碳层几乎不产生，并经 65% 左右反挤压变形后，脱碳层厚度比原始毛坯脱碳层还减少一半之上。

毛坯加热时间可根据加热设备和毛坯尺寸以及加热的毛坯数量而定，以毛坯均匀达到加工温度作为确定加热时间的标准。

3. 模具预热

除了毛坯在温挤压前要加热以外，温挤压用的凸模和凹模在温挤压前均要进行预热。预热的目的有两个：一是使毛坯放入模具后毛坯降温不致过大，以免造成毛坯材料塑性下降，变形抗力增加；还为了避免毛坯表面和中心层温差过大，造成变形不均匀程度增加，变形抗力升高，甚至引起模具和温挤压件破坏。二是减小模具与毛坯的接触温差，避免模具表面层迅速升温，造成模具表面层和中心层之间大的温差，产生很大的内应力，引起模具破坏。

模具预热的方法有在模具上安装专门的煤气预热器，或者可用喷灯或在模具上放烧红的钢块进行预热。模具预热温度（指凸模、凹模和顶杆等工作部分）可在 150 ~ 300℃左右，视温挤压毛坯温度高低而定。检查预热温度的方法有：①用测温笔画在模具工作表面，当所画的颜色在 2s 内变为指定的颜色，就说明温度已达到所规定颜色的温度；②用表面温度计测量模具工作表面温度。

7.4　温挤压力

7.4.1　影响变形力的因素

温挤压与冷挤压一样，影响温挤压成形时变形力的因素很多，列举如下：

1）材料的种类、状态与性能。

2）变形方式（正挤压、反挤压、复合挤压或镦挤等）。

3）变形程度。

4）正挤压凹模和反挤压凸模的形状。

5）润滑剂种类。

6）加热温度。

除了加热温度以外，前面5个与冷挤压时是类似的。试验表明，在复合挤压时，当加热到150～200℃，往往单位压力比冷挤压时减少10%。在反挤压时，加热到100～200℃的单位压力比冷挤压时减少20%～40%。

图7-12所示为毛坯热处理对单位压力的影响。由该图可见，在500℃以下，毛坯预先退火处理的效果能显示出来，但在600℃以上，由于回复、再结晶或相变的关系，毛坯预先退火处理有否，都没有显著的差别。因此，挤压毛坯是否进行预先退火，主要取决于两个条件：一是材料；二是挤压温度。对18CrNiWA钢在高于750℃的温度作挤压试验，发现无论毛坯是否进行退火，挤压力完全一样。

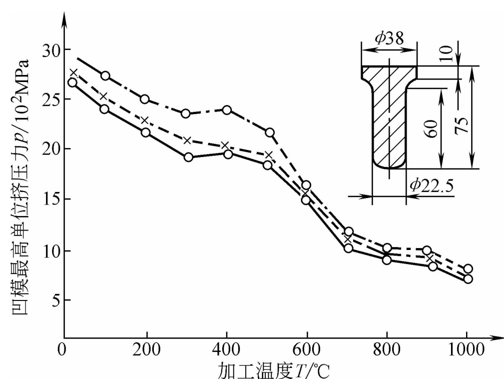


图7-12　毛坯热处理对单位挤压力的影响

—·—·—热轧　-----完全退火　——球化退火

冷挤压难成形的材料，在温挤压时，即使变形程度高达60%～70%的情况下，挤压单位压力还不大，如图7-13所示。图中示出Si-Cr阀门钢、Cr不锈钢和马氏体Cr-Ni不锈钢的变形程度为60%～70%，当加热温度为500℃时，挤压单位压力小于2500MPa；当加热温度为600℃时，挤压单位压力小于或等于2000MPa。

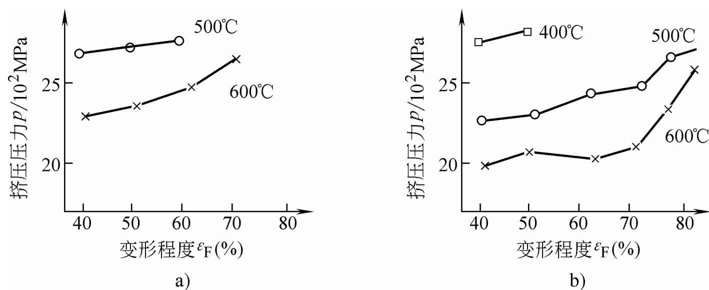


图7-13　各种材料在不同变形程度时的凸模压力变化

a）碳素弹簧钢（润滑剂：油剂石墨）　b）Si-Cr阀门钢（润滑剂：400℃，40%氯化石蜡；500℃、600℃，油剂石墨）

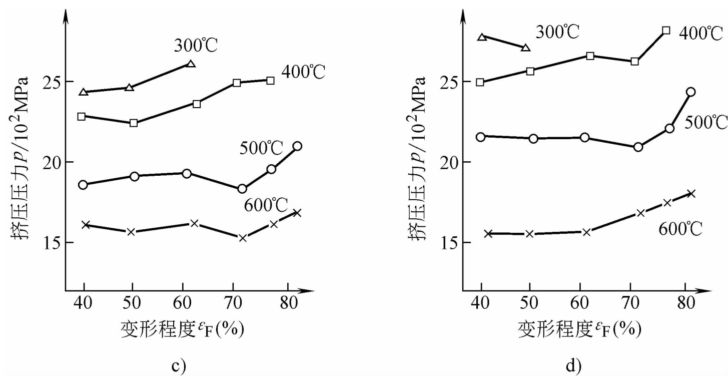


图 7-13　各种材料在不同变形程度时的凸模压力变化（续）

c）Cr 不锈钢（润滑剂：300℃、400℃，70% 氯化石蜡；500℃、600℃，硼酸铝 + 甘油）　d）马氏体 Cr-Ni 不锈钢（润滑剂：300℃、400℃，70% 氯化石蜡；500℃、600℃，硼酸铝 + 甘油）

注：反挤压，模具预热温度 200℃。

在一般情况下，与冷挤压相比，低温温挤压可减少变形抗力 15%，中温温挤压及较高温度温挤压的变形抗力可减少室温时的 1/4 ~ 1/2。可见，温挤压的变形抗力比冷挤压时显著下降，对冷作硬化敏感的材料效果更为显著。

图 7-14 所示为在各种温度下正挤压的挤压力-行程曲线图。由该图可见，曲线的倾向几乎一致。随着加热温度的增加，挤出零件需要的挤压力减少。在挤压的稳定阶段（即除开始阶段以外），挤压力的大小几乎与行程无关。

图 7-15 所示为不同钢材在不同条件下的变形力变化。由该图可见，低碳钢（15 钢）的挤压力比合金钢低。随着钢中合金元素含量的增多，温挤压变形力也增加。另外，随着变形温度的提高，变形力有所降低，但当有组织变化时例外。

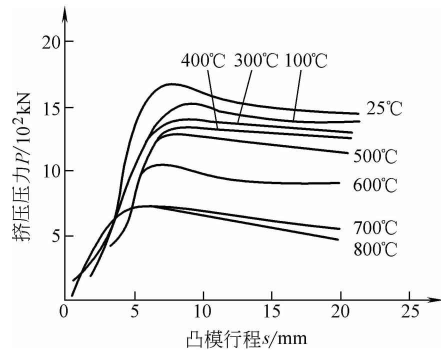


图 7-14　在各种温度下正挤压的挤压力-行程曲线图

注：材料为 45 钢，毛坯直径 ϕ37.2mm，凹模锥角 120°，变形程度 65%。

温挤压时润滑的好坏，除对产品表面质量、模具使用寿命有极大的影响以外，润滑剂还可使摩擦因数发生变化，从而使挤压力有变化。图 7-16 列出了温挤压轴承钢时，挤压变形程度 ε_F 为 70% 左右，加工温度为 700℃，使用 10 种温挤压润滑剂各自对单位挤压力的影响。由该图可见，其中使用油酸 57% + 石墨 26% + 二硫化钼 17%（质量分数）、水基石墨、油基石墨和玻璃粉作为润滑剂时单位挤压力最低；而使用全损耗系统用油 + 滑石粉（质量比 1∶1）、热锻润滑剂和硼砂 + 三氧化二铋作润滑剂时，单位挤压力最高。但结果发现，温挤压单位挤压力的波动幅度在 10% ~15%。

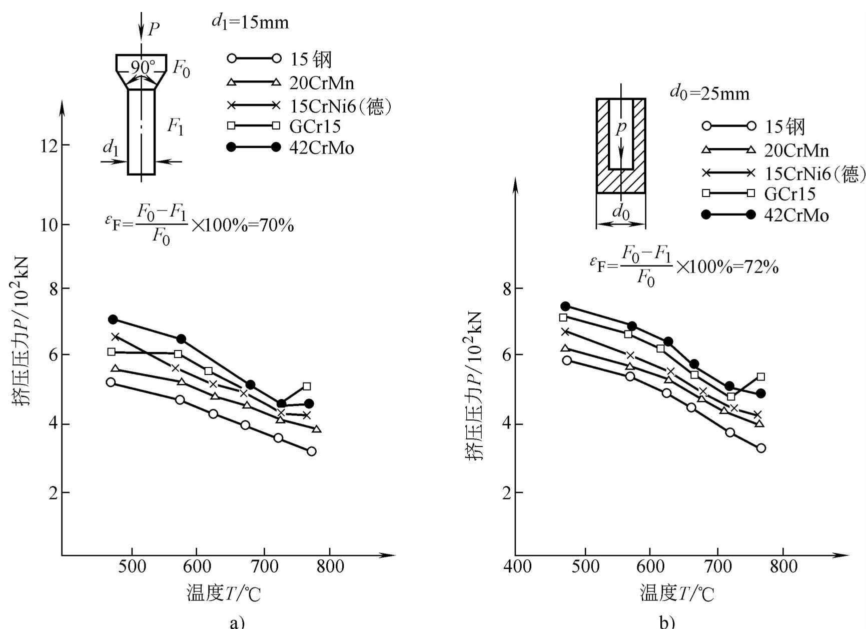


图 7-15　不同钢材在不同条件下的变形力变化

a）正挤压　b）反挤压

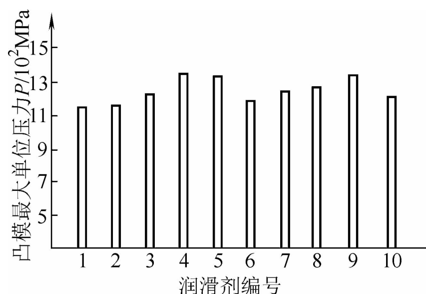


图 7-16　各种润滑剂与单位挤压力的关系

1—油酸 57% + 石墨 26% + 二硫化钼 17%（质量分数）　2—水基石墨　3—气缸油 + 石墨（质量比 4∶1）　4—全损耗系统用油 + 滑石粉（质量比 1∶1）　5—热锻润滑剂　6—油基石墨　7—四硼酸镁 40% + 石墨 60% + 水 100%（质量分数）　8—重铬酸 21.05% + 氧化镁 5.29% + 浓磷酸 31.35% + 石墨 42.11% + 水 100%（质量分数）　9—硼砂 90% + 三氧化二铋 10%（质量分数）　10—玻璃粉

注：轴承钢挤压，在 4000kN 机械压力机上，加工温度（700 ± 20）℃，$\varepsilon_F = 70\%$。

7.4.2　温挤压力的计算

温挤压时单位挤压力的计算方法是很多的。下面介绍五种较为实用的简单方法。

1. 经验公式计算法

英国的 PERA 推荐采用如下经验公式计算单位挤压力。

$$p = 76w(C) + 1.3w(Ni) - 0.08w(Cr) - 0.1T + 0.36\varepsilon_F + 143 \qquad (7\text{-}4)$$

式中　p——凸模最大单位挤压力(MPa)；
w(C)——碳含量(质量分数,%)；
w(Ni)——镍含量(质量分数,%)；
w(Cr)——铬含量(质量分数,%)；
T——毛坯的加热温度(℃)；
ε_F——断面缩减率(%)。

上述公式仅适用于加热温度为 200～600℃的碳钢、合金结构钢、常用的不锈钢的温热反挤压，计算误差在 10%以内。

从该公式还可以看出，钢中碳含量对挤压力的影响最大。式中没有表示出锰含量的影响，说明钢中锰含量的多少不影响挤压力的大小。

2. 图算法

图 7-17 是钢的温挤压单位压力计算图。图上的曲线在图中所示模具参数的条件下获得的，挤压前模具预热到 60～100℃，用油与石墨的混合剂作润滑剂。加工温度在 600℃以下者，毛坯作磷化处理，600℃以上者，毛坯不进行预先处理。

图 7-17 中虚线上的箭头表明了查图的方法。例如，当加工温度为 550℃，挤压 35 钢时，可沿图中 550℃向上虚线交到 35 钢的曲线上，然后箭头向左标到正挤压断面缩减率 80%曲线上的一点，这一点在水平轴上的投影数据为 1900MPa，就是 35 钢在 550℃作 80%正挤压变形时的单位挤压力。如果反挤压，则箭头向右标去，同样可查到某一断面缩减率下的单位挤压力数据。如 35 钢在 550℃下，以 40%变形程度反挤压时。单位挤压力可查得为 1800MPa（图中向右箭头方向）。

确定了单位挤压力，便可计算挤压力。

正挤压时
$$P = pA = \frac{\pi}{4}(d_0^2 - d_1^2)p \tag{7-5}$$

反挤压时
$$P = pA = \frac{\pi}{4}d_0^2 p \tag{7-6}$$

式中符号如图 7-17 中所示。

3. 查表法

温挤压时单位挤压力的数据还可以通过查表法来获得。表 7-5 是几种常用材料在 650～850℃时的单位挤压力。

4. 理论公式计算法

温挤压时变形力的计算，可根据金属塑性变形区内的平衡方程式与塑性方程联立求解得出。

1）正挤压实心件单位挤压力的计算公式为

$$p = 2\sigma\left(\ln\frac{d_0}{d_1} + 2f\frac{h_1}{d_1}\right)e^{\frac{2fh_0}{d_0}} \tag{7-7}$$

式中　p——单位挤压力（MPa）；
σ——挤压材料的变形抗力（又称流动抗力）（MPa）；

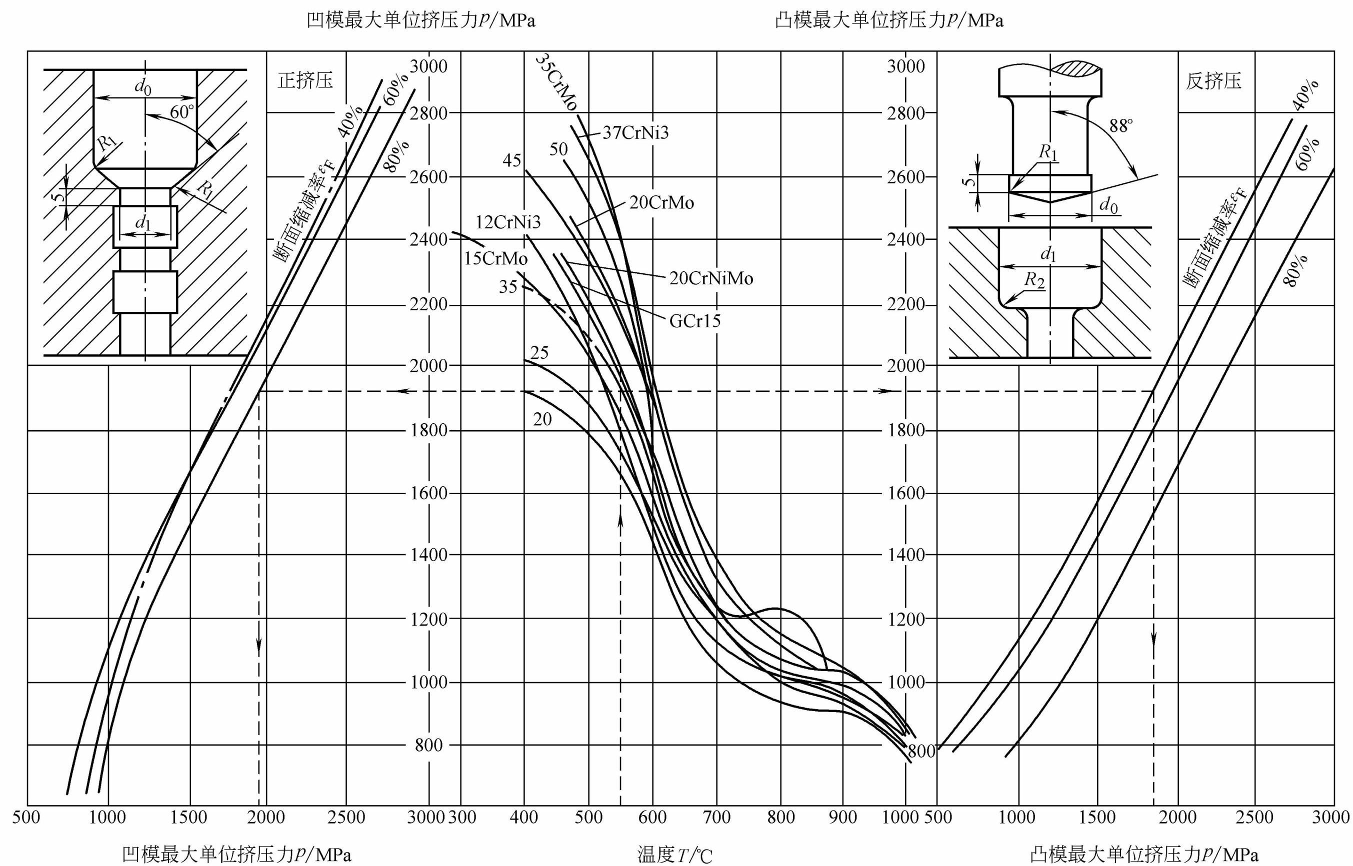


图 7-17　钢的温挤压单位压力计算图

表 7-5　几种材料的温挤压单位挤压力

反挤压凸模单位压力/MPa				正挤压凸模单位压力/MPa			
材料：10 钢							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	—	850	250	—	—
800	512	521	—	800	308	398	462
750	562	—	—	750	336	503	562
700	650	694	—	700	404	512	592
650	—	910	—	650	—	—	—
材料：20 钢							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	880	850	320	420	536
800	576	635	890	800	342	425	514
750	600	696	1000	750	392	536	630
700	679	855	1150	700	440	570	756
650	890	1060	—	650	—	—	—
材料：35 钢							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	840	850	380	505	581
800	640	685	870	800	373	495	667
750	745	786	1070	750	421	533	740
700	821	955	1220	700	535	685	862
650	1050	1260	—	650	—	—	—
材料：45 钢							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	850	850	368	500	615
800	740	810	844	800	408	550	710
750	760	844	1060	750	444	565	825
700	903	1013	1120	700	535	686	880
650	1150	1320	—	650	—	—	—

（续）

反挤压凸模单位压力/MPa				正挤压凸模单位压力/MPa			
材料：40Cr							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	—	—	910	850	378	592	690
800	710	751	960	800	394	640	750
750	780	821	1000	750	445	760	850
700	986	1050	1240	700	570	800	1110
650	1180	1290	—	650	—	—	
材料：T10							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	686	740	1152	850	458	505	695
800	790	825	1200	800	480	600	726
750	882	976	1220	750	530	705	836
700	935	1090	—	700	695	806	11060
650	—	—	—	650	—	—	—
材料：GCr15							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	746	750	1290	850	441	615	740
800	860	970	1330	800	655	702	875
750	932	1410	—	750	—	926	936
700	—	—	—	700	875	1035	1170
650	—	—	—	650	—	—	—
材料：40CrNi							
温度/℃	变形程度 ε_F（%）			温度/℃	变形程度 ε_F（%）		
	40	60	80		40	60	80
850	730	785	936	850	—	—	—
800	811	839	1030	800	—	545	675
750	890	985	1092	750	425	687	785
700	918	1010	1110	700	564	720	800
650	—	—	—	650	—	—	—

d_0——毛坯原始直径（mm）；
d_1——挤压后产品直径（mm）；
h_0——毛坯原始高度（mm）；
h_1——挤压凹模工作带高度（mm）；
f——摩擦因数，一般 $f=0.06\sim0.15$。

2）反挤压杯形件单位挤压力的计算公式为

$$p = \sigma\left[\frac{d_0^2}{d_1^2}\ln\frac{d_0^2}{d_0^2-d_1^2}+(1+3f)\left(1+\ln\frac{d_0^2}{d_0^2-d_1^2}\right)\right] \tag{7-8}$$

式中　p——单位挤压力（MPa）；
σ——挤压材料的变形抗力（又称流动抗力）（MPa）；
d_0——毛坯原始直径（mm）；
d_1——工作内孔直径（mm）；
f——摩擦因数，一般 $f=0.06\sim0.15$。

5. 近似计算法

1）正挤压时，凸模单位挤压力 p_f 计算公式为

$$p_f = CnR_m \tag{7-9}$$

2）反挤压时，凸模单位挤压力 p_b 计算公式为

$$p_b = Cn\frac{A_0}{A_h}R_m \tag{7-10}$$

式中　C——安全系数；
n——温挤压变形时材料的冷作硬化系数；
A_0——毛坯截面积（mm^2）；
A_h——凸模截面积（mm^2）；
R_m——温挤压温度下被挤材料的抗拉强度（MPa）。

C、n 值由表 7-6 查得。表中 n 值的取法是：当温挤压温度较低时，n 取大值；当温挤压温度较高时，n 取小值。

表 7-6　安全系数 C 和硬化系数 n 值

变形程度（%）	安全系数 C		硬化系数 n	
	正挤压	反挤压	正挤压	反挤压
40	1.8	1.6	1.5～2.0	
60	2.6	2.6	1.7～2.2	
80	3.6	4.0	1.8～2.2	

温挤压温度下的抗拉强度 R_m，对于碳钢可查图 7-18（由室温中的抗拉强度查得 R_m）；对于有色金属的抗拉强度 R_m，查表 7-7。

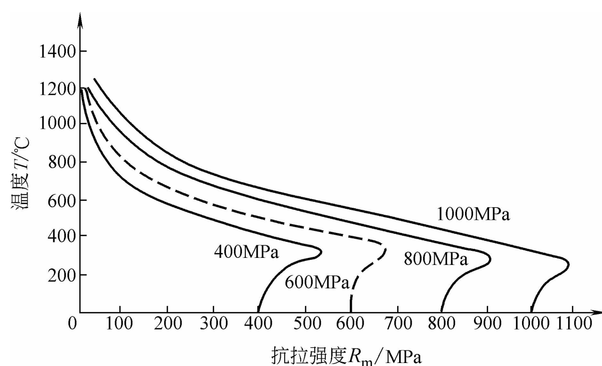


图 7-18　碳钢随温度变化的抗拉强度

表 7-7　几种有色金属温挤压时的抗拉强度

材料种类	温度/℃	抗拉强度 R_m/MPa
铅黄铜 HPb59-1	300	254.8
	400	156.8
黄铜 H62	300	274.4
硬铝 2A12	250	215.6

7.5　温挤压用润滑剂

在温挤压成形过程中，降低金属毛坯与模具之间的摩擦阻力，改善金属流动与挤压件质量，提高模具使用寿命，减少变形力和变形功的消耗都是十分重要的。特别是温挤压成形时的润滑问题，目前研究的较多，已研制出许多新的润滑剂。

1. 润滑剂的性能要求

由于温挤压成形是处在一定的温度及高压下的塑性成形，并伴随金属流动时新生表面的不断出现，这使其在成形过程中的摩擦条件变得复杂，润滑也变得困难了。因此，温挤压成形时的润滑剂应具备如下的性能要求。

1）对摩擦表面具有最大的活性和足够的黏度，不易流失，较好地粘附于摩擦表面，承受高达 2000MPa 以上的高压而不被破坏。所谓活性是指润滑剂对摩擦表面的吸附能力。黏度指流体内部产生相对运动时，在分子间产生的阻力，即流体的内摩擦阻力。润滑剂的黏度大，活性高，有利于摩擦表面形成牢固的足够厚的润滑层的能力，保证塑性成形时不被挤走，使摩擦因数最低，润滑性能最好。

2）在温挤压加工温度下，润滑剂具有较小的摩擦因数。

3）润滑剂应具有一定的热稳定性、耐热性和绝热性。润滑剂具有良好的绝热性，可防止毛坯与模具接触时温度急剧降低，而模具温度也不会升得过高，有利于模具寿命的提高。

4）润滑剂的化学稳定性要高，温挤压时不分解、不氧化变质、无毒、无公害，且对挤压件及模具无腐蚀作用。

5）润滑剂在温挤压成形条件下具有较好的湿润性（又称成膜性、浸润性），能均匀地扩散到毛坯与模具表面，形成均匀而牢固的润滑膜，并应具有一定的冷却性能，这对连续、高速成形时，提高模具寿命是十分有利的。

6）在温挤压过程中，始终能有效地隔开模具与被挤压金属，且可覆盖温挤压过程中所形成的大片新生表面，能防止金属质点粘附到模具型腔上面去。

7）具有良好的悬浮分散和可喷涂性能，使用方便，易于实现机械化、自动化操作，工作环境清洁，劳动条件好，成形后易于清除。

8）润滑剂材料的来源充分，容易获得，且价格便宜。

实践生产指出，润滑剂的粘附现象与摩擦因数相比，摩擦因数的大小是次要的。因为润滑剂摩擦因数的变化最多影响挤压负荷的 15% 左右，而产生粘附现象则会使挤压负荷大幅度地增加。非但如此，而且也使挤压件质量没有保证，模具寿命降低。

那么摩擦因数低的润滑剂是不是就能防止温挤压时产生粘附现象呢？试验表明，两者没有必然联系。有时可能摩擦因数较高的润滑剂反而在温挤压时能防止粘模。润滑剂的摩擦因数开始剧增的温度，与温挤压时粘附开始形成的温度也不一定一致。这是因为摩擦因数是在弹性变形范围求得的，而温挤压时常常伴随着产生大量新生表面。因此，仅仅用润滑剂摩擦因数的高低，来预测在温挤压时的润滑效果是完全不行的，必须进行实际温挤压成形，根据能否防止粘附来最后判断润滑的优劣。

2. 润滑剂的种类及选用

用于温挤压的润滑剂种类很多，下面介绍已在生产实际中采用的几种润滑剂。

1）在 450℃以上温挤压碳钢和合金结构钢，可采用石墨或二硫化钼与气缸油混合后作润滑剂，混和体积比为 1∶2。润滑前如能对毛坯作磷化处理，则润滑效果更佳。

2）在 400～800℃范围内温挤压碳钢、合金结构钢、模具钢、高速钢等，可采用石墨与气缸油，以体积比为 1∶2 的比例混合而成的石墨油剂作润滑剂。当温挤压温度在 600℃以下时，润滑前应对毛坯作磷化处理。

3）在 350℃以下温挤压 12Cr18Ni9 等不锈钢，可采用酸洗，待草酸盐表面处理后，再使用氯化石蜡 85%（质量分数）加二硫化钼 15%（质量分数）作为润滑剂。

4）在 400～800℃范围内温挤压 20Cr13、12Cr18Ni9、40Cr13 等不锈钢，如果是小批量生产时，可采用氧化铅与气缸油，以体积比为 1∶2 的比例混合调匀后作润滑剂；如果是大批量生产时，可采用氧化硼加 25%（质量分数）石墨或氧化硼加 33%（质量分数）二硫化钼作润滑剂。

5）温挤压 GH1040 等耐热合金，采用石墨 25%（质量分数）加氧化硼 75%（质量分数）作润滑剂。

6）在 700～800℃范围内温挤压碳钢、合金结构钢、不锈钢等，可采用玻璃润滑剂。其配方如下：硅砂 23%（质量分数，下同）、硼酸 41%、红丹（Pb_3O_4）30%、氧化铝 1.8%、硝酸钠 4.2%。配制时，将原料搅拌均匀，先在高温中焙烧，变成熔融状

态的玻璃，然后激入冷水中，变成玻璃珠，烘干后就可以保存起来。使用前按质量比 5% 加入起悬浮作用的磨加物——三级以上白土（或称黏土），磨成粉末状就可使用。用时按玻璃质量的 70% 加入冷水，搅拌成均匀的糊状，就可以分别采用喷涂、刷涂或浸涂等方法，涂刷在毛坯的表面上。

7）温挤压有色金属时，可以采用水基石墨或油基石墨润滑剂，也可以采用铝金属粉。

7.6　温挤压模具

温挤压模具的设计基本上可参照前面所述冷挤压模具的设计方法，此处不再重述。

7.6.1　模具材料的要求及选用

温挤压模具在材料成形过程中，要经受高压及变形热的作用，最大单位挤压力高达 2000～2500MPa，连续生产时模具温度可达 300～500℃或更高。因此，对用于温挤压的模具材料要求如下所述。

1）模具在温升后，模具材料的屈服强度应高于挤压时作用在模具上的单位挤压力。

2）模具材料除具有高强度、高硬度、一定的韧性以外，还应具有高的热硬性、高温耐磨性及耐热疲劳性。

3）模具材料的热膨胀率要小，热导率要大，比热容也要大。

4）制造工艺性好，有利于热锻、热处理及切削加工等。

目前完全适合温挤压的模具材料还没有，但可以根据条件在冷挤压模具钢和热锻模具钢中选择，见表 7-8。

表 7-8　温挤压模具工作部分材料

模具材料	淬火温度/℃	回火温度/℃	使用硬度 HRC
Cr12MoV	1000～1050（空冷）	450～550	55～58
W18Cr4V	1200～1240（油冷）	550～700	50～63
W6Mo5Cr4V2	1160～1270（油冷）	550～680	50～63
3Cr2W8V	1130～1150（油冷）	550～600	46～50
5CrNiMo	830～870（油冷）	450～570	45～50

根据温挤压时的加工温度不同，模具材料的选择如下所述。

1）在 200～400℃范围内温挤压时，可采用冷挤压用模具材料，如 Cr12MoV、W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 等。

2）在 400～500℃范围内温挤压时，宜采用热锻模具钢，如 5CrNiMo、3Cr2W8V 等。

3）在 500℃以上温挤压时，宜采用 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、W6Mo6Cr4V2 等。

7.6.2　模具结构

温挤压成形用的模具，要能承受温挤压成形时引起的较大轴向压力和径向压力，要求其强度高，刚度和精度都能适用各种成形工序的要求，尤其是模架，要通用性好，便于安装、调整与更换。但实际上，由于压力机类型、规格和变形方式的不同，模具结构也各种各样，且有所差异。目前较典型的温挤压模具结构如图 7-19 所示。模具的安装方式和工作部分（凸、凹模）的同轴度，是影响挤压件精度与模具寿命的重要因素。凸模固定圈 8 通过销钉 7 和螺钉 12 固定在上模板 6 上，凸模垫板 9 可以分散凸模 10 在成形时的轴向压力，使凸模垫板的面压控制在凸模成形压力的 1/4 ~ 1/3，即 500 ~ 700MPa，据此来决定凸模垫板内外径尺寸与厚度大小。凸模 10 用锥形紧固圈 11 靠一定锥面定位与紧固圈 13 固定在上模板 6 上。为了保证凸模 10 与凹模 16 的同轴度，凸模锥形紧固圈 11 和固定圈 8 之间的配合精度以 H7/h6 为宜。同样凹模下模座 23 用螺钉 24 固定在下模板 25 上，为了保证凸、凹模的同轴度，组合凹模 16、17、19 通过弯月形板 20 和调节螺钉 18 进行调整。凹模上端部用压板 2 压紧，当凸模尺寸改变时，可通过换装凸模锥形紧固圈将其固定。挤压方式的变化、零件长度的变化，需考虑到凹模厚度、凸模长度和卸件的必要长度等，可适当改换垫块 22、垫板 26、顶出杆 27、顶出器 21 等。对不同尺寸的挤压件，当挤压后附着在凸模上时，则可利用卸料板 5 和卸料环 14 把挤压件从凸模上卸下来。对半封闭挤压和外缘翻边，在凸模内有芯子挤压时，为使挤压件从凸模上卸下，在凸模方面也应安装退料杆，通过压力机滑块上的顶出装置，把挤压件退出，上模板的中心孔就是安装退料杆和加工时定位需要的。尤其是对多工位自动送料装置的连续生产时，如果不安装上退出装置，就有可能使前后两个挤压件碰撞而损坏模具，甚至损坏压力机，这是必须注意的。为了保证上下模工作时具有良好的导向，温挤压模具多采用导柱导套结构形式，导套 3 压入上模板 6，导柱 1 压入下模板 25，压下深度都不小于（1.5 ~2.0）d。导柱导套配合用 H7/h7 动配合，导柱根数取 2 ~4 根为好。

在生产批量小时，可以采用与冷挤压相同的模具结构。但是在开始温挤压之前应使用喷灯或在模具工作部分放上烧红的钢块进行预热，使模具工作部分具有约 150 ~ 300℃的温度。

图 7-20 所示温挤压模具结构中的凹模使用单独加热器预热。预热器除了预热以外，还可保证凹模温度稳定在一定范围以内，与其他方法相比，对生产起到较好的作用。

但是生产批量大时，必须在温挤压模具结构上设计冷却系统。

图 7-21 所示为带有冷却系统的温挤压模具结构。上模板 1 与下垫板 14 通过导柱 7 和导套 8 导向连接。为了保证凸模 4 和凹模 10 具有较高的同轴度，配置了凸模垫块 3 和凹模支撑圈 11。为使挤压后工件从凹模中顶出，可通过顶料杆 13、顶杆 15 和下顶杆 16 进行顶出。把停留在凸模上的挤压件卸下，是通过卸料板 9 和镶块 5 实现的。温挤压时由于热毛坯的热传导凹模温度会升高，可用冷却水通过凹模支撑圈 11 和固定外套

12 之间的空隙流过。凸模的冷却，可用压缩空气通过压紧螺母 6 中的通道流过来实现。这样可以保证温挤压模具工作部分在较稳定的温度范围内工作。

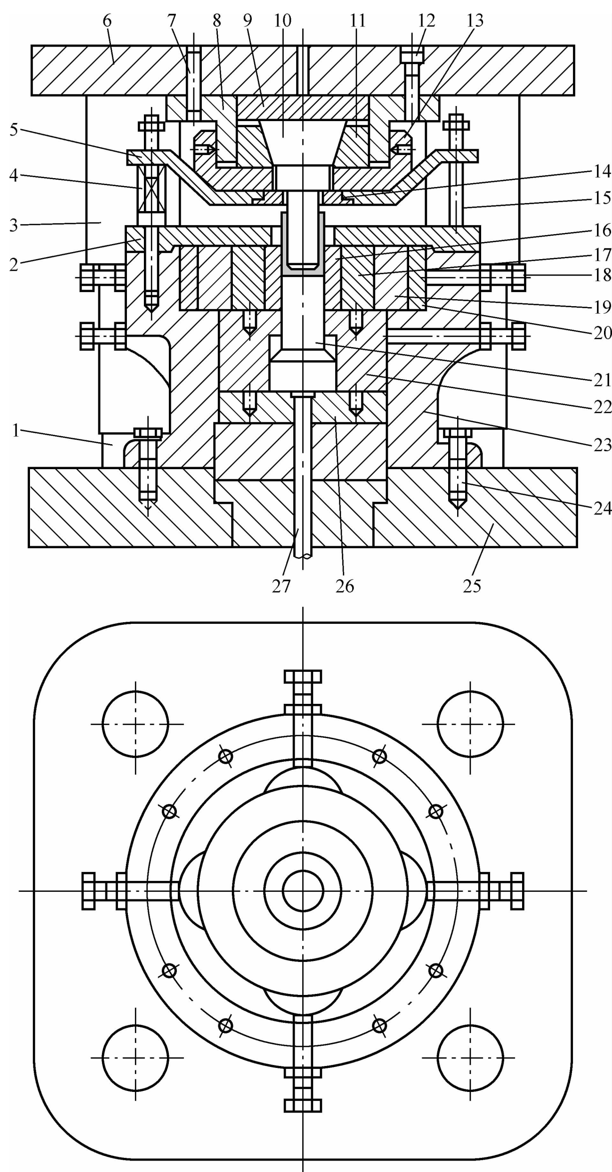


图 7-19　典型的温挤压模具结构

1—导柱　2—压板　3—导套　4—弹簧　5—卸料板　6—上模板　7—销钉　8—固定圈　9—凸模垫板　10—凸模　11—锥形紧固圈　12、24—螺钉　13—紧固圈　14—卸料环　15—卸料螺栓　16—凹模　17—组合凹模中圈　18—调节螺钉　19—组合凹模外圈　20—弯月形板　21—顶出器　22—垫块　23—下模座　25—下模板　26—垫板　27—顶出杆

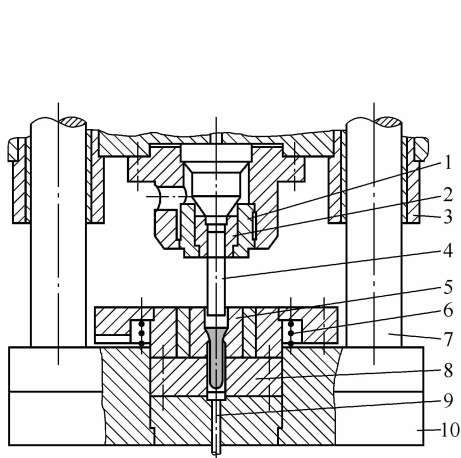


图7-20　温挤压（正挤压）模具结构

1—凸模紧固圈　2—定位压紧圈　3—导套　4—凸模　5—凹模　6—加热器　7—导柱　8—垫板　9—顶杆　10—下模板

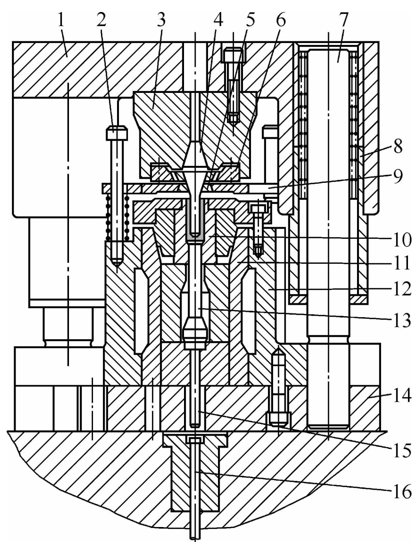


图7-21　带有冷却系统的温挤压模具结构

1—上模板　2—螺钉　3—凸模垫块　4—凸模　5—镶块　6—压紧螺母　7—导柱　8—导套　9—卸料板　10—凹模　11—凹模支撑圈　12—固定外套　13—顶料杆　14—下垫板　15—顶杆　16—下顶杆

图7-22所示为凹模布置在上面的温挤压模具，它常应用于不带下顶出的压力机上。凹模8与上退杆7通过上压圈6固定在上模板3上，凸模9用下压圈15通过锁紧圈14和凸模固定圈18固定在下模板19上。将温挤压后的工件从凹模中推出，可用顶杆5与上退杆7完成。从凸模上卸下工件用卸料板13完成。

7.6.3　凸模与凹模设计

温挤压成形时，正挤压凹模如图7-23所示。考虑到成形时的压力会引起凹模内径弹性变形增大、磨损，温度上升引起膨胀，以及变形后工件的冷却收缩等。设计的正挤压凹模内径 D 应比挤压件外径稍大。这可根据挤压零件尺寸、变形温度和变形量等加工条件不同而有所不同。一般情况下，凹模内径比挤压件外径大0.6%～1.0%。正挤压凹模锥角部分与工作带部分的圆角半径 r，根据温度的高低取 $r=1\sim4$mm（当挤压温度高时，取较大值）；工作带长度 h_1 取3～5mm。这些值一般比冷挤压时稍大。D_2 比 d_1 大0.2～0.4mm。

反挤压凸模的设计一般如图7-24所示。其工作带高度 s 取3～5mm，其值比冷挤压时稍大。直径 d 比 d_0 值大0.6～1.2mm，其值也比冷挤压时稍大。为了有利于金属流动，尽量使凸模端面应有一段斜面，其斜度取5°～10°为好。圆角部分 R 与 R'，在满足零件要求的前提下，应尽可能大些。一般不能取1mm以下，例如可取2～3mm。凸模长度与直径的比，在单位挤压力大时，应不大于2.5～3（对于钢），以增加其稳性。

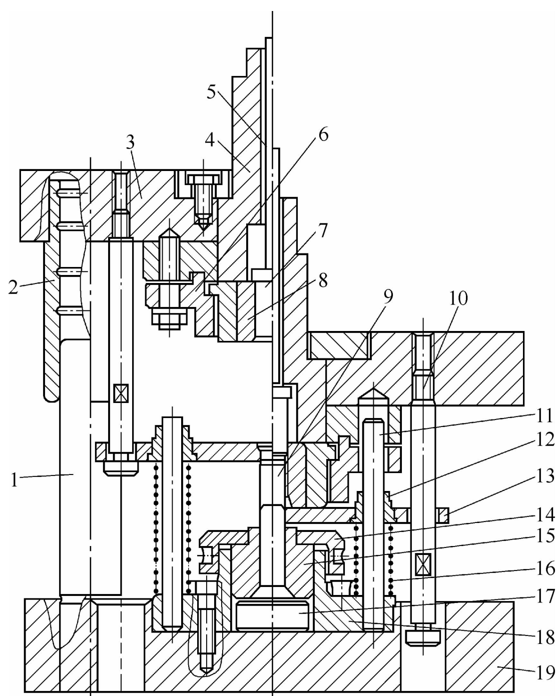


图 7-22　凹模布置在上面的温挤压模具结构

1—导柱　2—导套　3—上模板　4—模柄　5—顶杆　6—上压圈　7—上退杆　8—凹模　9—凸模　10—螺钉　11—小导柱　12—小导套　13—卸料板　14—锁紧圈　15—下压圈　16—弹簧　17—垫块　18—凸模固定圈　19—下模板

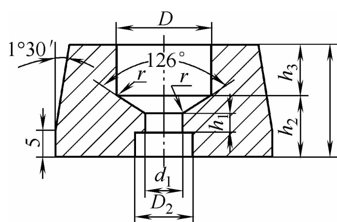


图 7-23　正挤压凹模

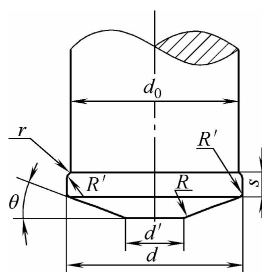


图 7-24　反挤压凸模

凸凹模工作部分的表面粗糙度值应尽量低些，一般应取 $Ra = 0.1\mu m$ 以下。转角均应光滑过渡。反挤压凸模的非工作部分表面粗糙度值 Ra 一般也不应高于 $0.8\mu m$。

7.6.4　组合凹模

与冷挤压时一样，一般需用组合凹模。组合凹模的设计基本上与冷挤压相同。但在温挤压过程中，由于内层凹模的温度比外层预应力圈的温度高得多，形成较大的温度梯

度，使内层凹模产生的热膨胀值大于预应力圈的热膨胀值，使过盈量变大，因此，需予以修正。其修正量 $\Delta\delta$ 的计算与冷挤压时考虑凹模温度上升时的修正量计算相同。在室温压合时的径向过盈量缩小，温挤压开始时，为了防止预应力不足而引起模具破坏，应将温挤压凹模进行预热。

7.6.5　模具的冷却

温挤压温度在 500 ~ 600℃ 以上连续工作时，模具硬度会急剧下降，强度也会显著降低，从而缩短了模具的使用寿命。如能使模具的工作温度保持在 200℃ 左右，就可以进行连续生产而不失去原有的性能。

在小量生产时，可以在每次温挤压以后，用压缩空气冷却凸、凹模等工作部分，并增加每次温挤压工序之间的间隔时间。

在大量生产时，必须采用专门措施来冷却模具。对模具进行冷却的方法如下所述。

1）在压力机连续生产时，不是每一次行程都进料，而是隔一次行程送一个毛坯，这样就可以有充分的时间使模具冷却。

2）在模具内开孔加强模内冷却。用泵将压力为 0.12 ~ 0.14MPa 的润滑剂打进模具内的孔道进行流放以冷却凸模，而向凹模吹进压力为 0.4 ~ 0.5MPa 的压缩空气以冷却凹模和顶件器。

3）对模具进行喷雾冷却。由于温挤压过程中，凸模温度升高，如仅利用模具内的开孔流放冷却润滑剂，则因水分蒸发很快，润滑剂流不到凸模的下端（见图 7-25）。因此，当压力机滑块回到上死点附近时，还要用喷嘴对凸凹模进行喷雾冷却。

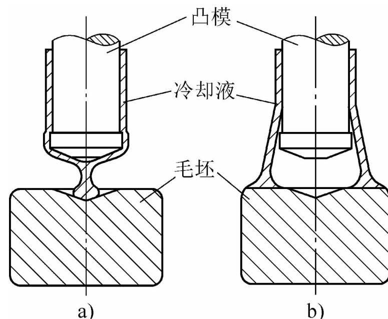


图 7-25　沿着凸模流放的润滑剂
a）凸模在低温时　b）凸模在高温时

上述三种方法通常是联合使用的。

7.7　产品的力学性能及尺寸精度

1. 力学性能

许多研究表明，温挤压温度增加，产品的塑性和韧性一般增加而强度下降。在一定的温挤压温度下，随着挤压变形程度的增加，产品的强度增加而塑性下降。一般挤压的应变都较大，在回复的显微组织内会明显地出现织构。最严重的纤维织构会明显地影响冲击韧度。

温挤压钢质零件，当温挤压温度在 200 ~ 400℃ 范围内时，温挤压件的力学性能与相同变形程度的冷挤压件相近；而温挤压温度在 400 ~ 800℃ 范围内时，温挤压件的抗拉强度、屈服强度为机械加工零件的 1.1 ~ 1.5 倍。

表 7-9 列出了各种材料在室温到 600℃ 不同温度范围内进行反挤压的硬化效果。表

中的数据是在断面缩减率 $\varepsilon_F = 62\%$ 的情况下所测得的硬度平均值。一般来说，加工温度越高，则产品的硬度越小。与原始硬度比较起来，温度越高，硬度增加率越低。这些钢铁材料的原始硬度很大，温挤压也不会造成硬度降低。

表 7-9　温挤压（反挤压，$\varepsilon_F = 62\%$）产品的硬度变化情况

钢　　种	退火后毛坯的硬度 HV	温挤压后产品的硬度 HV						硬度增长率（%）					
		加工温度/℃											
		20	200	300	400	500	600	20	200	300	400	500	600
含硫易切钢	96	293	247	244	236	216	194	205	157	154	146	125	102
40 钢	177	—	—	—	312	293	270	—	—	—	76	66	53
1% Cr 钢	196	—	—	—	—	314	293	—	—	—	—	60	50
4. 25% NiCrMo 钢	254	—	—	—	—	341	317	—	—	—	—	34	25
2% NiMo 表面硬化钢（低碳）	161	267	294	280	298	217	257	66	83	74	85	68	60
碳素弹簧钢（高碳）	208	—	—	—	—	—	284	—	—	—	—	—	37
Si-Cr 阀门钢	261	—	—	—	—	349	330	—	—	—	—	34	26
13% Cr 不锈钢	179	—	—	310	295	293	275	—	—	73	65	64	54
马氏体 Cr-Ni 不锈钢	257	—	—	—	343	343	318	—	—	—	33	33	24
奥氏体 Cr-Ni 不锈钢	173	—	338	319	316	319	311	—	95	84	83	84	80

注：钢种一列中百分数为质量分数。

表 7-10 列出了各种材料在 20 ~ 600℃不同温度下反挤压（$\varepsilon_F = 62\%$）以后的产品抗拉强度数据。可以清楚地看到，即使加工温度在 600℃，各种钢材的抗拉强度也比原毛坯有不同程度的提高。以 2% NiMo 表面硬化钢（低碳）为例，毛坯在退火状态的抗拉强度是 528MPa，而 300℃温挤压以后，可达到 905MPa，600℃温挤压后达到 732MPa，均有不同程度的增加。

表 7-10　温挤压（反挤压，$\varepsilon_F = 62\%$）产品的抗拉强度

钢　　种	退火后毛坯的抗拉强度/MPa	温挤压后产品的抗拉强度/MPa						抗拉强度的增加率（%）					
		加工温度/℃											
		20	200	300	400	500	600	20	200	300	400	500	600
含硫易切钢	355	818	—	772	—	—	554	132	—	119	—	—	57
40 钢	662	—	—	—	1020	992	922	—	—	—	53. 8	49. 2	38. 5
1% Cr 钢	740	—	—	—	—	1102	970	—	—	—	—	49. 0	31. 2
4. 25% NiCrMo 钢	830	—	—	—	—	1100	992	—	—	—	—	32. 6	19. 4
2% NiMo 表面硬化钢（低碳）	528	940	—	905	—	—	732	78. 8	—	71. 2	—	—	39. 1
碳素弹簧钢（高碳）	770	—	—	—	—	1018	860	—	—	—	—	31. 4	11. 7

（续）

钢　　种	退火后毛坯的抗拉强度/MPa	温挤压后产品的抗拉强度/MPa						抗拉强度的增加率（%）					
		加工温度/℃											
		20	200	300	400	500	600	20	200	300	400	500	600
Si-Cr 阀门钢	800	—	—	—	—	1140	1020	—	—	—	—	44.4	26.8
13% Cr 不锈钢	612	—	—	—	1010	948	862	—	—	—	64.8	54.5	41.0
马氏体 Cr-Ni 不锈钢	832	—	—	—	1140	1200	1080	—	—	—	37.3	65.6	52.8
奥氏体 Cr-Ni 不锈钢	580	—	—	—	884	955	884	—	—	—	52.8	65.6	52.8

注：钢种一列中百分数为质量分数。

2. 尺寸精度

温挤压件的尺寸精度除与模具、设备的弹性变形及模具的磨损等有关以外，还与产品冷却后的收缩及氧化膜的多少等因素有关。在实际生产中，这些影响因素与尺寸精度之间的关系是极其复杂的，很难用定量关系式来描述。

表 7-11 列出了直径 ϕ32mm 的 45 钢毛坯，反挤压成外径为 ϕ32mm、内径为 ϕ27mm 的杯形件时的温挤压件收缩率。由该表可见，在 700 ~ 800℃ 挤压时，外径收缩率为 0.8% ~1.0%，内径收缩率约为 0.6%。在 500 ~600℃ 挤压时，外径收缩率为 0.6% ~ 0.9%，内径收缩率约为 0.4%。但应指出，收缩率与许多因素有关，因而生产条件不同，收缩率可能不同。

表 7-11　温挤压件的收缩率（45 钢）

名称	挤压温度/℃	杯部外径	杯部内径	底径
模具实际尺寸/mm	—	ϕ32.28	ϕ27.41	ϕ25.15
挤压件的实际尺寸/mm	800	ϕ32.00	ϕ27.25	ϕ24.88
	700	ϕ32.02	ϕ27.25	ϕ24.90
	600	ϕ32.05	ϕ27.30	ϕ24.93
	500	ϕ32.09	ϕ27.30	ϕ24.98
收缩率（%）	800	0.9	0.6	1.0
	700	0.8	0.6	1.0
	600	0.7	0.4	0.9
	500	0.6	0.4	0.7

另外，根据实测的结果，在 200 ~800℃ 范围内温挤压时，钢质挤压件的尺寸公差可以采用如下试验数据：直径为 ϕ50mm 以下的正挤压件或反挤压件，直径公差不应小于 0.1mm，如产量较大，直径公差以 0.2 ~0.3mm 为妥。空心件的壁厚公差为 0.4 ~

0.8mm，外径与孔径的同轴度公差为0.1～0.3mm。如果需要进一步提高温挤压件的尺寸精度，应在温挤压以后再加一道冷修整工序。

3. 表面粗糙度

温挤压加工时，由于润滑条件较差，容易使模具型腔表面粗糙，且会局部擦伤挤压件，有时甚至会发生粘附现象。因此，温挤压件的表面粗糙度值大于冷挤压件的表面粗糙度值。研究了45钢和40Cr钢温挤压件的表面粗糙度，如表7-12所示，温挤压温度从室温至600℃温度范围内，零件的表面粗糙度值基本上相近，且比变形前毛坯有所降低。但当温挤压温度高于700℃以后，零件表面粗糙度可降升至 $Ra=1.6\sim6.3\mu m$。

表7-12　钢温挤压温度与零件表面粗糙度

温挤压温度/℃	表面粗糙度 $Ra/\mu m$	备注
室温	0.7～1.3	1）原始毛坯 $Ra=4.4\sim4.7\mu m$ 2. 测试用轮廓仪
300	0.4～1.5	
350	0.5～1.7	
400	0.5～1.65	
500	0.4～1.25	
600	0.7～1.3	

7.8　温挤压工艺实例

下面按温挤压零件所用的材料，来介绍温挤压工艺实例。

7.8.1　结构钢温挤压工艺

1. 45钢

由于45钢的变形抗力较大，进行冷挤压生产常受到模具强度的限制。根据试验，冷挤压45钢，当变形程度为40%时，凸模单位压力已达2300MPa；变形程度60%时，则达到2500MPa。由此可见，采用温挤压工艺，对45钢较为合适。

图7-26b所示为45钢温挤压杯套零件。原生产工艺是机械加工，不仅生产率不高，而且材料利用率也低。温挤压材料采用冷拉钢，毛坯直径 ϕ32mm、长14mm（见图7-26a）。温挤压后产品内孔可不再加工，外圆稍经磨削，即可达到产品要求。实际上，内孔表面粗糙度可达 $Ra=0.8\mu m$，外圆可达 $Ra=1.6\mu m$。温挤压生产在2500kN压力机上进行。反挤压变形程度为71%。

温挤压加工工艺，除了模具结构设计以外，关键的工艺是合理选择温挤压温度。45钢在各种温度的力学性能如图7-3所示，在650℃以上，抗拉强度已经降至100～200MPa。

45钢的反挤压凸模单位压力和温挤压温度的关系曲线如图7-27所示。

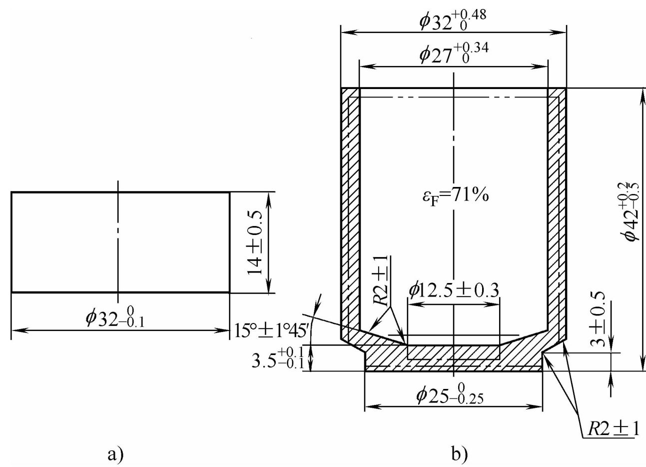


图 7-26　45 钢杯套温挤压件及其所用毛坯

a）毛坯　b）挤压件（双点画线为最后成品尺寸）

根据凸模材料的承载能力，该零件温挤压一般应高于 650℃。在 700 ~ 800℃ 温挤压，可以得到更低的单位压力。为了避免严重氧化、脱碳，温挤压温度一般也不应高于800℃。根据试验，在650 ~ 800℃温挤压，挤压件表面光滑，没有出现明显的新脱碳层。温挤压材料硬度比毛坯退火后硬度提高不到一倍，可直接进行切削加工。因此，在此温度范围内进行温挤压生产加工，是较合理的。温挤压前不需要进行毛坯软化退火。

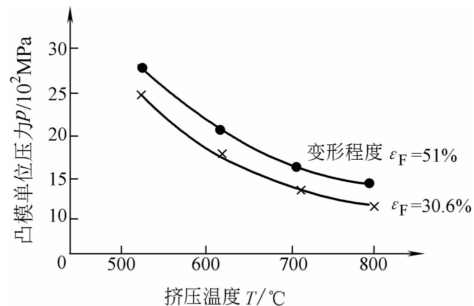


图 7-27　45 钢的反挤压凸模单位压力和温挤压温度的关系曲线

图 7-28 所示为 45 钢套筒温挤压件。将圆形毛坯 ϕ22mm × 20mm 加热到 700 ~ 750℃左右，经复合温挤压一次成形，所用设备为 1600kN 闭式单点压力机。由于设备本身没装下顶出装置，套筒温挤压模具结构采用倒装形式，如图 7-29 所示，其模具型腔由退料管 5、凹模 6 与下凸模 11 组成。变形前，先将被加热好的毛坯送入凹模 6 下端的定料板 8 内，定料板的放料腔内有三个钢球，因受弹簧的弹力把毛坯夹住，使毛坯在挤压前不会落下。上下凸模 4、11 的相对运动使毛坯进行上下正反复合温挤压成形。由于套筒零件的上下形状不同，挤压件上下部分的变形程度分配不均（$\varepsilon_{F,上}=24\%$，$\varepsilon_{F,下}=53\%$），处于上部分金属变形阻力小，容易流动，所以上端反挤压部分采用封死形式，温挤压成形后还可用做退料用，下部分正挤压的端面自由伸长不予以限制。成形后，通过压力机滑块的回程动作，使退料杆 1 推动退料管 5，把挤压件从凹模 6 内退出。润滑剂采用石墨油剂，用 0.4 ~ 0.5MPa 压力的压缩空气进行喷涂，温挤压零件尺寸的收缩量据实测波动在 0.004 ~ 0.007mm 范围内。

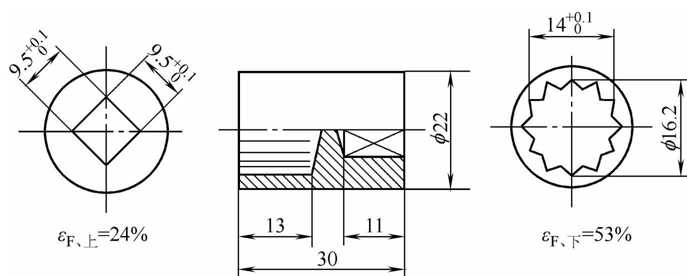


图 7-28　45 钢套筒温挤压件

2. 20Cr 钢

活塞销是内燃机的重要零件，型号多，数量大。过去生产主要采用 20Cr 钢实心棒料车削加工和钻孔加工，有的也用无缝钢管加工，材料利用率低（约为 40% ~60%），改用温挤压成形后，材料利用率可提高到 80% 以上，生产率提高 5 倍。活塞销温挤压毛坯与挤压件如图 7-30 所示。

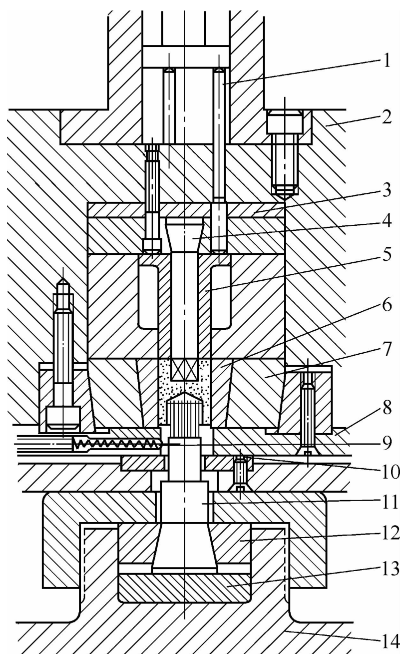


图 7-29　套筒温挤压模具结构

1—退料杆　2—上模座　3—上垫板　4—上凸模　5—退料管　6—凹模　7—加强圈　8—定料板　9—钢球　10—弹簧　11—下凸模　12—定位圈　13—下垫板　14—下模座

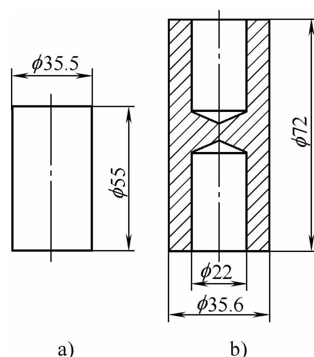


图 7-30　活塞销温挤压毛坯与挤压件

a）毛坯　b）挤压件

其温挤压的工艺流程为：剪切下料→平端面、倒角、磨外圆→浸涂润滑剂→中频感应加热→温挤压→检查。

热轧棒料经 Q45-125 型精密棒料剪切机截断，然后在机床上车平两端面并倒角，然后外圆磨光后，预热到 80～120℃，浸涂 WS-3 水基石墨润滑剂，每件毛坯表面浸涂润滑剂的量平均为 0.5g 左右。然后送入中频感应加热器内加热，加热温度控制在（650±10)℃左右。工作电源频率为 2500Hz，功率 100kW。加热时间 3min 即可使直径 ϕ35.5mm 的毛坯内外温度一致。不同型号不同尺寸规格活塞销的毛坯加热规范如表 7-13 所示。加热好的毛坯送入 J87-300 型冷挤压机上进行温挤压成形，生产节拍是 8～10s 左右。

表 7-13　毛坯加热规范

型号	材料	毛坯尺寸（直径/mm）×（长/mm）	加热温度/℃	电源频率/Hz	电压/V	电流/A	功率/kW
195 活塞销	20Cr	ϕ35.5×55	650	2500	280	100	28
4115 活塞销	20Cr	ϕ45.5×66	650	2500	480	95	45.6
东方红-54 活塞销	20CrMnMo	ϕ48.5×70	650	2500	510	100	51

图 7-31 所示为温挤压活塞销的模具结构。与冷挤压模具相比，该模具结构的最大特点是，在衬套 6 和下模座 8 上设有冷却通道，通入 0.4～0.5MPa 的压缩空气进行冷却，同时将模腔内的润滑剂残渣吹掉，上凸模是利用装在卸料板上的空气冷却装置定时冷却，由压缩空气通过电磁滑阀控制，当挤压变形完成后，同时对上、下凸模和凹模进行冷却。由于毛坯在加热前浸涂水基石墨润滑剂，且增加了压缩空气冷却装置，对模具进行冷却，使模具原来工作温度高达 420℃降低到 300℃以下，模具寿命由原来的几千件提高到万件以上。

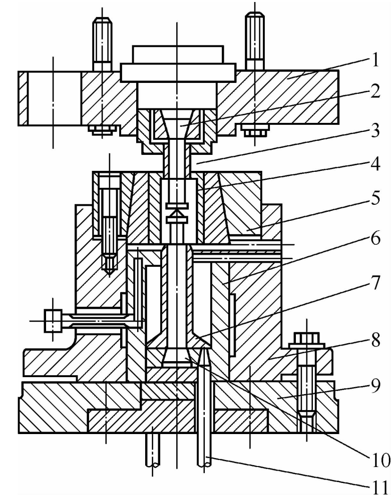


图 7-31　活塞销温挤压模具结构
1—上模座　2—上凸模　3—模套　4—凹模　5—导向套　6—衬套　7—顶料套　8—下模座　9—下底座　10—下凸模　11—下顶杆

从降低挤压力的效果来看，油酸、石墨、二硫化钼（质量比 57∶17∶26）混合润滑剂比水基石墨（WS-4）效果要好，如图 7-32 所示。但水基石墨润滑对模具冷却效果好，使用中无烟、不燃烧、无强烈臭味、残渣少、不结块，清洗方便。由表 7-14 不难看出同样是 195 型活塞销，温挤压的变形力比冷挤压变形力降低 40% 左右，温挤压变形温度为 650℃时，活塞销的材质、变形程度和零件尺寸大小对温挤压单位挤压力影响不大。图 7-33 列出了 20Cr 钢 195 型活塞销在 400～800℃温挤压时，单位挤压力的变化情况。由该图可看出，20Cr 钢

在机械压力机变形速度（300mm/s 左右）下，在 450 ~ 550℃温度区间存在一个“蓝脆”区，温度高于 550℃以后，随着温度的提高，挤压力不断降低，并在 700℃以后挤压力变化趋于和缓。因此，对 20Cr 钢在 650 ~ 750℃进行温挤压是合适的。

表 7-14　几种型号的活塞销温挤压变形力

活塞销型号	材料	挤压件尺寸：（外径/mm）×（内径/mm）×（长/mm）	加热温度/℃	变形程度（%）	挤压力/kN	单位挤压力/MPa
195	20Cr	ϕ35.5 × ϕ22 × 90	20	38.5	950	2500
195	20Cr	ϕ35.5 × ϕ22 × 90	650	38.5	540	1368
4115	20Cr	ϕ40.5 × ϕ26 × 112	650	41	750	1413
东方红-54	20CrMnMo	ϕ48.5 × ϕ31 × 118	650	41	1020	1352

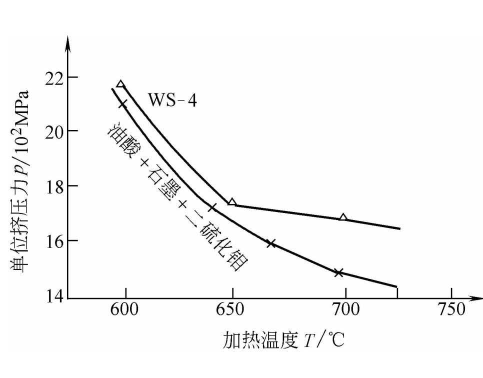


图 7-32　润滑剂种类对单位挤压力的影响

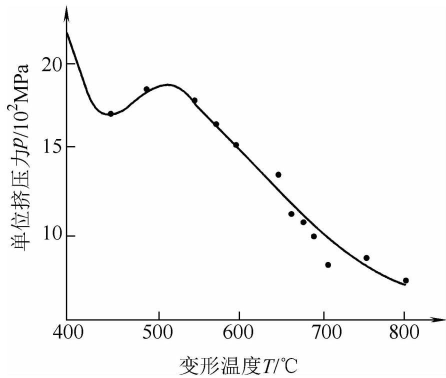


图 7-33　活塞销温挤压时变形温度与单位挤压力之间的关系

温挤压后零件的尺寸精度可达 0.07mm 以下；表面粗糙度 Ra = 0.4 ~ 1.6μm；壁厚差可控制在 0.2mm 以下。活塞销纵断面硬度分布如图 7-34 所示。由该图可见，活塞销温挤压成形后，外表面硬度略高于内孔表面的硬度，中心连皮处几乎没有改变原始硬度值（毛坯原始硬度为 185HBW）。

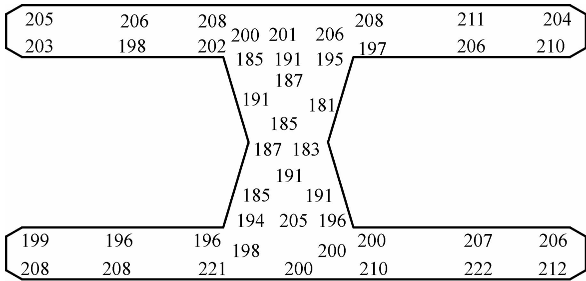


图 7-34　活塞销温挤压后布氏硬度（HBW）分布

实践生产资料证实，温挤压活塞销零件的弯曲、压缩和疲劳性能都优于冷挤压与机械切削加工的同类产品。

3. 18CrNi4WA 钢

结构钢 18CrNi4WA 在淬火及低温回火后，可以获得很高的力学性能，抗拉强度 R_m 达到 1300 ~ 1400MPa，而冲击韧度不低于 12J/cm^2。强度和韧性的结合，保证了零件在使用中的可靠性，往往用来制造特别重要的零件。它可作为渗碳钢使用。

表 7-15 列出了 18CrNi4WA 材料的化学成分及主要力学性能。由该表可见，在软化状态下其抗拉强度 R_m 数值是 720 ~ 800MPa，要进行大变形量的冷变形是比较困难的。图 7-35 是 18CrNi4WA 钢的奥氏体等温转变图（俗称 C 曲线）。它的特点是缺少珠光体分解区，而贝氏体转变区几乎和马氏体转变区重合，临界点 A_1 为 700℃，而 A_3 为 800℃，在 500 ~ 700℃之间不发生珠光体转变为托氏体的分解。在冷却过程中，奥氏体不是在 450 ~ 300℃等温地转变为贝氏体，就是在连续冷却中转变成马氏体。马氏体开始转变温度是 370℃，转变终止温度是 250℃。这个温度远大于室温，所以说几乎 98% 的奥氏体转变成马氏体了，残留量很少，因此，在低温回火后，这种材料尚保持着很高的强度。该图还说明 18CrNi4WA 钢退火软化效果不佳。这是由于奥氏体不能转变成珠光体组织，甚至在非常缓慢的冷却速度下，都可以使其奥氏体组织过冷转变为贝氏体或马氏体组织。因此，它往往不是在油中淬火，而是在空气中冷却，所以习惯上称这种钢为空冷淬硬钢。这类钢的唯一软化处理方法是在临界点以下进行高温回火，即采用（660 ± 20）℃的回火工艺进行软化。这样所获得的抗拉强度 R_m 大于 700MPa。这个科学实验数据促使人们去进行 18CrNi4WA 钢温挤压成形工艺的研究。

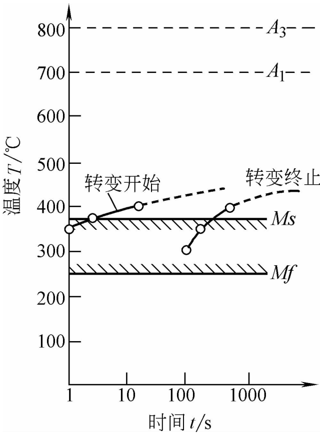


图 7-35　18CrNi4WA 钢的奥氏体等温转变图

表 7-15　18CrNi4WA 钢的化学成分及主要力学性能

化学成分（质量分数,%）						软化状态		淬火、低温回火	
C	Mn	Si	Cr	Ni	W	R_m/MPa	A（%）	R_m/MPa	A（%）
0.14 ~ 2.0	0.25 ~ 0.55	0.17 ~ 0.37	1.35 ~ 1.65	4.0 ~ 4.4	0.8 ~ 1.2	720 ~ 800	25.6	1300 ~ 1400	10

图 7-36 是 18CrNi4WA 钢的强度-温度曲线。当温度升高时，抗拉强度 R_m 下降，在大于 600℃的温度区间，R_m 值下降得更为显著。当 R_m 小于 400MPa 时，进行温挤压变形就具备了条件。考虑到当温度超过 750℃以后，钢材将发生强烈氧化，所以不宜选择太高的温度。生产实践证明，对 18CrNi4WA 钢的温挤压工艺取（670 ± 20）℃（炉温）比较适宜。表 7-16 是 18CrNi4WA 钢零件的温挤压变形工艺过程。其单位挤压力比 45 钢

在同样变形程度之下的冷挤压单位压力小得多，这说明了温挤压加工是一种行之有效的塑性成形新工艺。

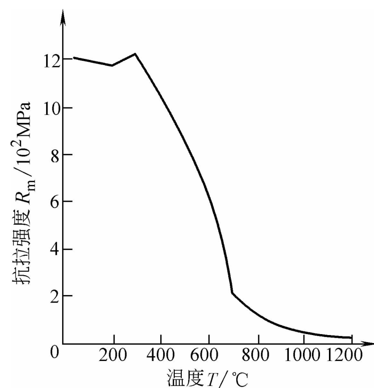


图 7-36　18CrNi4WA 钢的强度-温度关系曲线

表 7-16　18CrNi4WA 钢零件的温挤压变形工艺过程

工序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
工艺内容	毛坯下料	酸洗去除氧化皮	喷涂润滑剂	温度 (670±20)℃ 预成形 单位挤压力 p=1140～1350MPa	酸洗去除氧化皮	喷涂润滑剂	温度 (670±20)℃ 反挤压 ε_F=75% 单位挤压力 p=1200～1330MPa	酸洗去除氧化皮	喷涂润滑剂	温度 (670±20)℃ 正挤压 ε_F=67% 单位挤压力 p=1110～1300MPa	检验

在 18CrNi4WA 钢温挤压过程中所采用的润滑剂是低温玻璃润滑配方，模具型腔表面涂有二硫化钼油剂，所获得的温挤压件表面质量良好。

4. 38CrA 钢

38CrA 钢的化学成分及主要力学性能见表 7-17。退火以后，其强度还是很高，其 R_m 值为 642MPa。

表 7-17　38CrA 钢的化学成分及主要力学性能

材料	化学成分（质量分数,%）					淬火		回火		主要力学性能	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	温度/℃	冷却介质	温度/℃	冷却介质	R_m/MPa	A(%)
38CrA	0.35 ~ 0.42	0.5 ~ 0.8	0.17 ~ 0.37	0.8 ~ 1.1	≤0.4	850 ~ 870	油	450 ~ 570	水或油	950	12

表 7-18 是 38CrA 钢零件的温挤压成形工艺方案，此工艺的温度、断面缩减率及单位挤压力见表 7-19。

表 7-18　38CrA 零件的温挤压成形工艺方案

方案	序号	1	2	3	4	5
方案Ⅰ	工艺内容	毛坯下料	酸洗去除氧化皮	喷涂润滑剂	正六角 $\varepsilon_F=54\%$	检验
方案Ⅱ	序号	1	2	3	4	5
	工艺内容	毛坯下料	酸洗去除氧化皮	喷涂润滑剂	正六角 $\varepsilon_F=67\%$	检验

表 7-19　38CrA 钢零件的温挤压温度、断面缩减率及单位挤压力

方案Ⅰ			方案Ⅱ		
温度（炉温）/℃	断面缩减率	单位挤压力 p/MPa	温度（炉温）/℃	断面缩减率	单位挤压力 p/MPa
800	$\varepsilon_{F、反}=54\%$	2000	800	$\varepsilon_{F、反}=67\%$	1400
680	$\varepsilon_{F、正}$，不均匀	2500	—		—

表 7-18 的两种工艺方案：方案Ⅰ是六角形底部有 ϕ33mm 的孔；方案Ⅱ是实心的六角形底部。两种工艺方案都能进行温挤压成形。但方案Ⅰ中，六角形底部变形极不均匀，六条棱边开裂，棱边的根部有金属折叠现象。因此，方案Ⅰ对金属变形的安排不合理。方案Ⅱ可以采用。

图 7-37 所示为 38CrA 钢的强度-温度关系曲线。为了使变形抗力显著降低，加工温度选择在 600℃以上较好。

润滑与前例相同。

7.8.2　轴承钢温挤压工艺

轴承钢广泛地应用于机械制造工业，特别是轴承圈作为基础元件，需要量越来越大。目前，轴承圈直径≤ϕ140mm 的均可采用温挤压（有的还可用冷挤压）成形工艺进行生产。特别是轴承圈的温挤压，与热锻相比，同样具有变形抗力低、塑性好的优点，且由于加热温度低，不产生过热、过烧、氧化、脱碳等毛病，尺寸精度高，产品质量好，可与冷挤压成形产品相媲美。

1. 轴承钢的变形抗力与温度的关系

轴承钢在各变形温度时的变形抗力如图 7-38 所示。在 450℃左右出现蓝脆区。当变形程度 $\varepsilon=70\%$ 时，应变速率 $\dot{\varepsilon}$ 由 $1.5s^{-1}$ 提高到 $40s^{-1}$ 时，变形抗力有所提高。

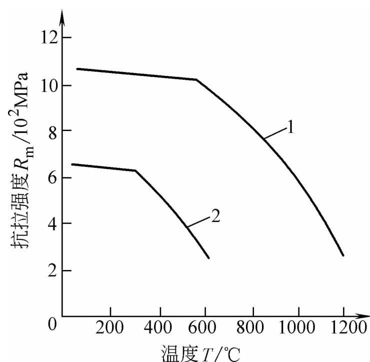


图 7-37　38CrA 钢的强度-温度关系曲线

1—材料未经过软化处理　2—材料经过软化处理

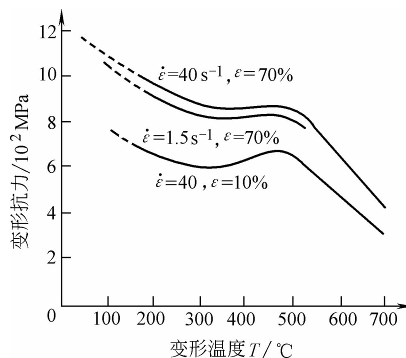


图 7-38　GCr15 钢在各种温度时的变形抗力

轴承钢 GCr15 在温挤压加工温度范围内的抗拉强度和塑性指标如表 7-20 所示。如温度为 725℃时，抗拉强度 $R_m=177.8$MPa，而在 614℃时，$R_m=547$MPa。变形温度仅仅提高 100℃，而抗拉强度 R_m 降低了 2/3 左右。塑性指标 A 和 Z 值同样有所提高，A 值提高 40.8%，Z 值的提高 39.1%。当温挤压温度提高到 835℃时，抗拉强度将进一步降低到 112MPa，塑性指标 A 值达 79.4%，而 Z 值高达 99.4% 左右。

2. 轴承钢 GCr15 温挤压温度的合理范围

如上所述，GCr15 钢蓝脆区在 450℃左右。变形温度高于蓝脆区后，随着温度的提高，变形抗力不断下降，而且在 600～700℃之间，下降剧烈。轴承钢 GCr15 的相变区

约在 735℃左右开始。因此，高于 750℃以后，变形后在空气中冷却，将形成索氏体组织，碳化物积聚，原始的球化组织被破坏，使挤压件硬度提高，不利于后续机械加工工序的进行。所以一般温挤压轴承套圈的温度常选在（700 ± 20）℃左右。在此温度区间进行温挤压，挤压件可保持表面光滑，无新的脱碳层出现。变形后，原材料的脱碳层有变薄趋势。由于在低于相变点加工，挤压件硬度一般仅增加 5% ~12%，对后续加工无影响，同时也为热处理准备了好的原始组织。

表 7-20　轴承钢 GCr15 在温挤压加工温度范围内的抗拉强度及塑性指标

变形温度/℃	抗拉强度 K_m/MPa	塑性指标	
		伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）
614	547.0	13.0	37.1
650	453.5	14.5	48.0
695	350.5	21.3	50.3
725	177.8	53.8	76.2
787	131.6	71.93	98
835	112.0	79.4	99.4

GCr15 轴承钢温挤压后直接进行机械加工和热处理时，温挤压前应采用球化退火处理。对组织已符合国家标准的毛坯（球化的）可不必再进行球化退火处理。

3. 轴承套圈的温挤压工艺方案

轴承钢棒料经冷剪切下料，然后进行镦饼压缩（冷态或温态），继而进行温挤压成形工艺，目前共有六种成形方案，如图 7-39 所示。第Ⅰ种为单圈反挤压成形，模具结构简单，反挤压后经冲底，即可供后续加工。但变形力较高，700℃左右温挤压，单位挤压力高达 1400 ~1600MPa，这是几种成形方案中挤压力最高的一种，而与室温冷挤压成形相比，单位挤压力降低了一半以上。第Ⅱ种为杯-杯型复合挤压成形方案，工厂称之为“塔形”成形工艺。这种成形方案同时可以生产一套轴承圈毛坯，生产率高，

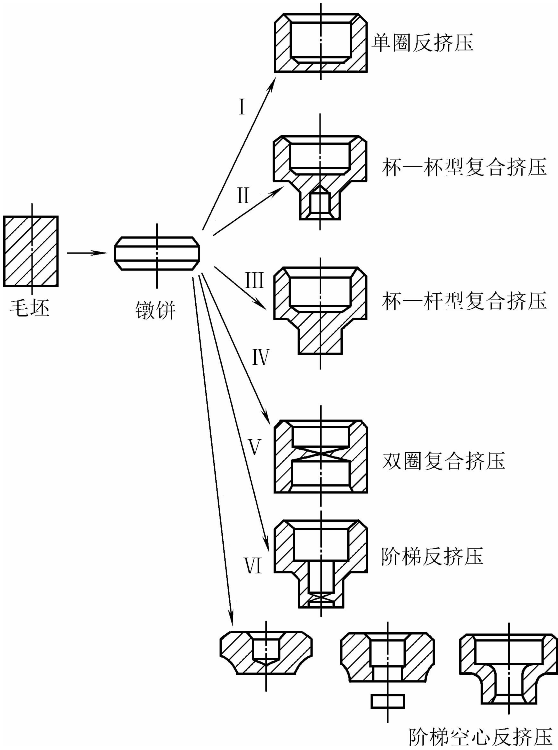


图 7-39　轴承圈温挤压成形方案

单位挤压力较低（$p=1100\sim1200\text{MPa}$），目前国内外应用较多。第Ⅲ种为杯-杆型复合挤压成形方案，单位挤压力最低只有600～800MPa。对于设备能力不足，温挤压外圈时可以采用，挤压后分离下部实心部分，它可以不经再次退火能直接进行冷挤压或温挤压内圈。第Ⅳ种是双圈复合挤压成形方案，在生产上虽未见采用，但实际上是可行的。该方案经实际测定挤压力较小，同时可以成形两个轴承圈，废料仅是一个底部，所以材料利用率较高。第Ⅴ种成形方案，由于前端心轴容易损坏，因此，温挤压成形时用得不多。第Ⅵ种成形方案，是目前国外已经在生产中使用的一种方案。由于是空心正挤压和复合挤压，可降低单位挤压力，对减少能量消耗，提高模具寿命是有利的。

目前轴承套圈温挤成形用得较多的是第Ⅰ种单圈反挤压及第Ⅱ种杯-杯复合挤压成形工艺，其具体工艺过程分别如表7-21及表7-22所示。

表7-21　轴承圈单圈温（反）挤压工艺过程

序号	名称	工序图	模具	设备	批试型号	
					205/02	202/01
1	备料				磨光料，除油去毛刺	热轧退火料，校直去毛刺
2	冷切料	L D	半封闭式下料模	JB23-80型压力机	1）$D=\phi20_{-0.3}^{0}\text{mm}$，$L=28.5\text{mm}$ 2）$L/D=1.43$ 3）$G=(67.5\pm0.7)\text{g}$ 4）硬度为199HBW 5）2～3级退火组织	1）$D=\phi22\text{mm}\pm0.3\text{mm}$，$L=33.5\text{mm}$ 2）$L/D=1.52$ 3）$G=(99\pm1)\text{g}$ 4）硬度为179～183HBW 5）2～3级退火组织
3	冷镦饼	h H D	浮动镦饼模	JB31-160A型压力机	1）$D=\phi33.65_{0}^{+0.1}\text{mm}$ $H=10_{0}^{+0.15}\text{mm}$，$h=2\sim4\text{mm}$ 2）$\varepsilon=65\%$ 3）硬度为318HBW，增加16.6% 4）冷镦后料饼表面温度85～95℃	1）$D=\phi35.2_{0}^{+0.1}\text{mm}$ $H=13.6_{0}^{+0.2}\text{mm}$，$h=3\sim4\text{mm}$ 2）$\varepsilon=59.4\%$ 3）硬度为302～311HBW 4）冷镦后料饼表面温度85～95℃
4	润滑	润滑膜厚度 0.05～0.1mm		润滑装置	1）四硼酸镁石墨水基润滑剂 2）拨料杆转速28r/min	
5	加热	（700±20）℃		电阻炉	1）每炉装料数量300～400件 2）料饼在炉中加热保温时间25～80min 3）每次从炉中取出8～10件	

（续）

序号	名称	工序图	模具	设备	批试型号	
					205/02	202/01
6	温挤压		温挤压模	JA31-160A 型压力机	1）$D=\phi33.8^{+0.15}_{0}$mm，$d=\phi24.4^{0}_{-0.2}$mm $H=16.5^{+1}_{0}$mm，$h=14.3^{0}_{-0.5}$mm 2）壁厚差不大于 0.3mm 3）$\varepsilon_{反}=52.1\%$ 4）冲头、凹模预热 100～150℃	1）$D=\phi35.5^{+0.2}_{0}$mm，$d=\phi28.2^{0}_{-0.2}$mm $H=27^{+1}_{0}$mm，$h=24.3^{0}_{-0.5}$mm 2）壁厚差不大于 0.3mm 3）$\varepsilon_{反}=66.8\%$ 4）冲头、凹模预热 100～150℃
7	温切底		温切底模	JB23-80 型压力机	1）$d_1=\phi24.1$mm 2）温度约为 450～600℃ 3）冲头、凹模预热约 100℃ 4）空冷	1）$d_1=\phi27.9$mm 2）温度约为 450～600℃ 3）冲头、凹模预热约 100℃ 4）空冷
8	检查				1）外观及几何尺寸精度 2）硬度为 215～315HBW 3）2～3 级退火组织	1）外观及几何尺寸精度 2）硬度为 201～265HBW 3）2～3 级退火组织

表 7-22　204 轴承圈塔形温挤压工艺过程

序号	名称	工序图	设备	工艺说明
1	冷剪料		1000kN 压力机	材料：GCr15 钢热轧退火棒料 1）$D=\phi28$mm，$L=30$mm 2）$L/D=1.06$ 3）$G=(144\pm1.5)$g 4）硬度为 180～185HBW 5）2～3 级退火组织
2	加热	(680±20)℃	12kW 箱式电炉	1）每炉装料数量 100～150 件 2）升温时间 15～20min，保温 10min 后切断电源 3）每次从炉中取出 1 件锻造

（续）

序号	名称	工序图	设备	工艺说明
3	镦饼	H D	J31-160A 型压力机	1）$D=\phi47.5^{+0.2}_{0}$mm，$H=10$mm 2）$\varepsilon=66\%$ 3）硬度为 100HBW
4	加热	（700±20）℃	12kW 箱式电炉	1）每炉装料数量 60 件 2）升温时间 12～15min，保温 8min 后切断电源 3）每次从炉中取出 1 件挤压
5	润滑	油基石墨或水基石墨		刷涂模具或喷涂
6	塔形挤压成形	D d_1 H 10° 5° d_2 D_1	J31-400 型压力机	1）$D=\phi47.4^{+0.4}_{0}$ mm，$d_1=\phi39^{\ 0}_{-0.4}$ mm，$H=16.2^{+1.8}_{0}$mm 2）$D_1=\phi28.4^{+0.4}_{0}$ mm，$d_2=19.2^{\ 0}_{-0.4}$ mm，$h=15^{+1.5}_{0}$mm 3）调整挤压冲头深度到符合尺寸要求 4）严格控制温挤压温度
7	内外套中间分离	D d_1 H h	J31-160B 型压力机	1）$D=\phi47.4^{+0.4}_{0}$ mm，$d_1=\phi39^{\ 0}_{-0.4}$ mm，$H=16.2^{+1.8}_{0}$mm 2）壁厚差不大于 0.3mm，圆度误差在 0.05mm 以下 3）利用挤压后余热分离（600～650℃）
8	切料芯	4 d_2 D 5	J31-160A 型压力机	1）$D=\phi28.4^{+0.4}_{0}$mm，$d_2=\phi19.2^{\ 0}_{-0.4}$ mm，$h=15^{+1.5}_{0}$mm 2）壁厚差不大于 0.4mm，圆度误差在 0.05mm 以下 3）切底工序利用挤压后余热分离(500℃以上) 4）空冷
9	检查			1）外观及几何尺寸精度 2）硬度为 98～101HBW 3）2～3 级退火组织

7.8.3　不锈钢温挤压工艺

随着航空、石油化工、动力、仪器仪表、汽车、食品、日用品等工业的发展，不锈钢制品的需要量也日益增多。由于良好的耐蚀性（抗氧化、抗酸作用）及较高的力学性能，它的用途越来越广泛。因此，不锈钢温挤压成形工艺也不断地得到应用。

目前用于温挤压成形的不锈钢有马氏体型及奥氏体型两种，其化学成分、热处理规范及力学性能见表 7-23。马氏体型不锈钢 12Cr13、20Cr13、30Cr13、40Cr13 等，可以通过淬火进行强化，温挤压前用退火进行软化处理。奥氏体型不锈钢 06Cr19Ni10、12Cr18Ni9 等在一般温度下保持纯奥氏体组织，可加热到 1100～1150℃ 固溶后，急冷进行软化处理。

表 7-23　不锈钢的热处理规范及力学性能

牌号		热处理规范	力学性能		
			抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 A（%）	硬度 HBW
马氏体型不锈钢	12Cr13	800～900℃缓冷	450	35	120～135
	20Cr13	800～900℃缓冷	500	22	160～170
	30Cr13	850～860℃缓冷	550	20	170～200
	40Cr13	860～900℃缓冷	480～560	20～25	180～200
	14Cr17Ni2	670～760℃空冷	600～700	17	180～200
奥氏体型不锈钢	06Cr19Ni10	1050～1150℃固溶处理	500～550	≥40	130～140
	12Cr18Ni9		500～550	≥40	130～140

不锈钢温挤压成形的特点如下所述。

（1）室温变形抗力大且冷作硬化严重　不锈钢在室温时具有高的变形抗力，它们在室温时的力学性能与 20 钢和黄铜 H62 的比较如表 7-24 所示。此外，不锈钢具有较大的冷作硬化。当然，只要正确地选择温挤压温度，就可以大大降低变形抗力。由不锈钢试验得出，马氏体型不锈钢在 600～800℃ 进行温挤压成形较为合适；奥氏体型不锈钢温挤压成形温度控制在 200～350℃ 是适宜的。

表 7-24　几种金属材料的力学性能

牌号	抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 A（%）	硬度 HBW	状态
H62	300	49	48～52	退火
20 钢	400	21	110～120	退火
12Cr18Ni9	550	40	130～140	淬火
20Cr13	500	22	160～170	退火
40Cr13	640	30	180～200	退火

（2）粘模能力强　金属微粒在温挤压时容易粘附到模具上，从而使模具和零件表面损伤。如果对温挤压润滑剂选择不当，就会发生严重的粘模现象，甚至根本无法进行生产。

因此，不锈钢温挤压温度的选择和润滑剂的选用及其使用方法，特别是润滑剂的选择是顺利地进行不锈钢温挤压加工生产的关键。

图 7-40 所示为不锈钢电动机外壳温挤压工序。毛坯直径为 ϕ25.8mm，其长度按挤压件体积和已确定的毛坯直径计算出，它等于 16mm。挤压温度为 260℃，挤压设备为液压机，经过两次挤压成形。

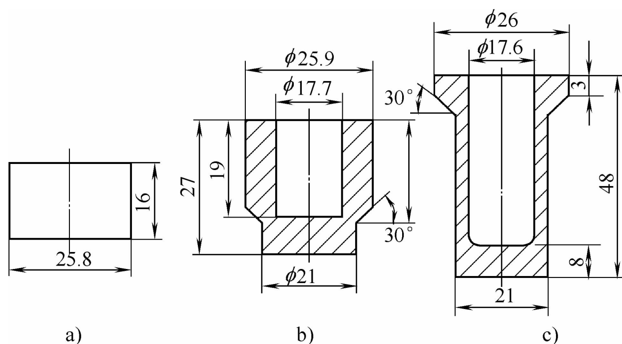


图 7-40　不锈钢电动机外壳温挤压工序
a）毛坯　b）第一次反挤压　c）第二次正挤压

不锈钢 12Cr18Ni9 电动机外壳的温挤压工艺流程为：备料→固溶软化→清理表面→表面草酸盐处理和 85%（质量分数）氯化石蜡 +15%（质量分数）二硫化钼润滑→炉中加热→第一次反挤压→固溶软化→清理表面→表面草酸盐处理和 85%（质量分数）氯化石蜡 +15%（质量分数）二硫化钼润滑→炉中加热→第二次正挤压→低温退火。

图 7-41 所示为一个内孔阶梯形的 20Cr13 不锈钢杯形温挤压件，其反挤压断面缩减率 ε_F = 75%。这个零件用一次工序进行冷挤压是比较困难的。目前已成功地采用温挤压加工，毛坯不必作退火处理，温挤压的加热温度为 850℃（炉温）。由于是在机械压力机上成形，温降较小（仅约 20 ~ 50℃），另外，因受变形热效应的作用，使此项工艺进行顺利。润滑剂用玻璃粉，模腔内涂二硫化钼油剂。

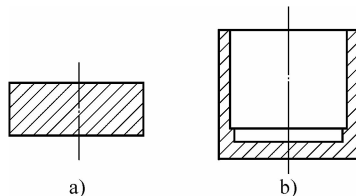


图 7-41　20Cr13 不锈钢杯形温挤压件
a）毛坯　b）反挤压

图 7-42 所示为奥氏体不锈钢 06Cr19Ni10 螺钉温挤压的变形工序。变形温度选用 250 ~ 350℃较为合适。

图 7-43 所示为奥氏体不锈钢螺钉温挤压模具。该模具的特点是，上凸模 1 和下凹模 6 都采用组合结构形式，可保证较高的模具使用寿命。

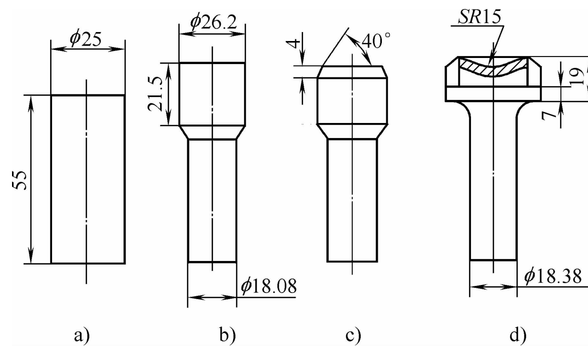


图 7-42　奥氏体不锈钢 06Cr19Ni10 螺钉温挤压变形工序

a）毛坯　b）正挤压　c）头部镦粗　d）头部六角成形

图 7-44 所示为奥氏体不锈钢 12Cr18Ni9 保护管温挤压变形工序，变形温度为 350℃。

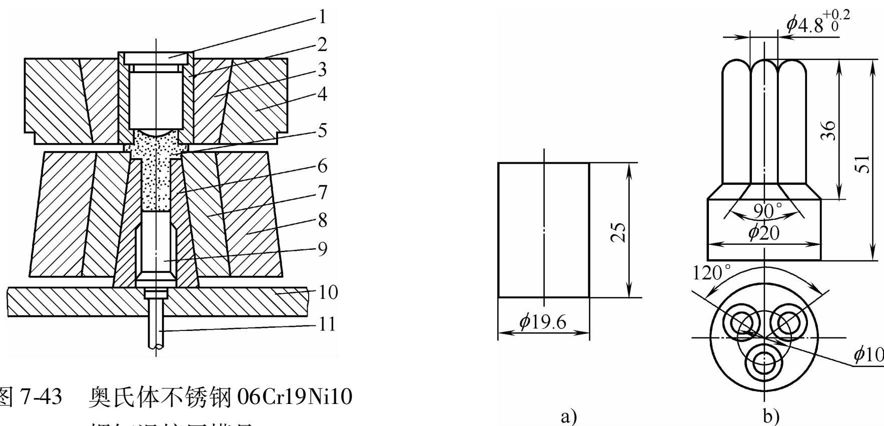


图 7-43　奥氏体不锈钢 06Cr19Ni10 螺钉温挤压模具

1—上凸模　2—上部六角凹模　3—上凹模中层预应力圈　4—上凹模外层预应力圈　5—螺钉挤压件　6—下凹模　7—下凹模中层预应力圈　8—下凹模外层预应力圈　9—顶料杆　10—下垫板　11—下顶杆

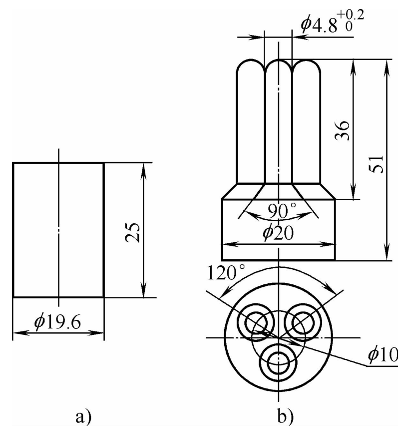


图 7-44　奥氏体不锈钢 12Cr18Ni9 保护管温挤压变形工序

a）毛坯　b）正挤压件

图 7-45 所示为奥氏体不锈钢 12Cr18Ni9 保护管正挤压模具。由于保护管挤压件的形状关系，在凹模设计上应采用横向分割型组合结构。

图 7-46 所示为奥氏体不锈钢 12Cr18Ni9 宽凸缘仪表零件，用毛坯（尺寸：ϕ10mm ×35mm）进行温镦工艺获得的。毛坯经软化热处理（淬火），软化热处理规范为：在 1100℃加热 5 ~ 10min 后，再在沸腾的水中冷却。处理后毛坯硬度由 250HBW 降至 130HBW。温镦前毛坯经草酸盐处理。

奥氏体不锈钢 12Cr18Ni9 宽凸缘仪表温镦模具如图 7-47 所示。毛坯在箱式电阻炉中

加热。温镦工序在2500kN液压机上进行。温镦时在模具上涂润滑剂二硫化钼15%（质量分数）加氯化石蜡85%（质量分数）。

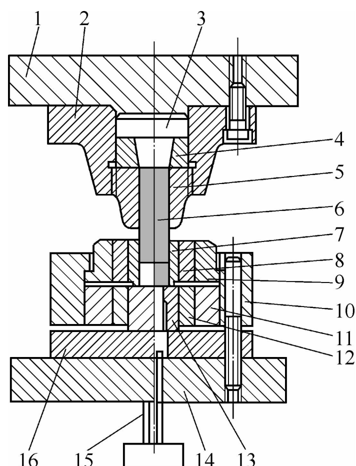


图7-45　奥氏体不锈钢12Cr18Ni9保护管正挤压模具

1—上模板　2—凸模固定圈　3—上垫块　4—锥形压圈　5—紧固螺母　6—凸模　7—上凹模　8—上凹模中圈　9—上凹模外圈　10—凹模固定圈　11—下凹模外圈　12—下凹模中圈　13—下凹模　14—下模板　15—顶杆　16—下垫板

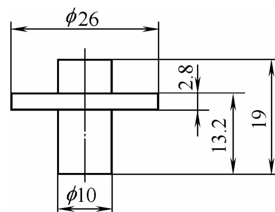


图7-46　奥氏体不锈钢12Cr18Ni9宽凸缘仪表宽件

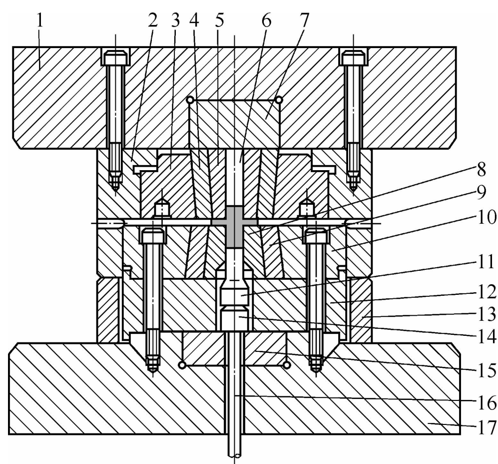


图7-47　奥氏体不锈钢12Cr18Ni9宽凸缘仪表件温镦模具

1—上模板　2—导向套　3—上外预应力圈　4—上内预应力圈　5—上凹模　6—上凸模　7—上垫板　8—下凹模　9—下内预应力圈　10—下外预应力圈　11—下凸模　12—固定圈　13—限程套　14—小顶块　15—下垫板　16—顶杆　17—下模板

7.8.4　高温合金温挤压工艺

随着航空与宇航工业的迅速发展，现在已经可以采用温挤压工艺制造各种高温合金零件。图 7-48 所示为用高温合金 GH1140 温挤压成形的涡流器内环零件。与旧的切削加工方法相比，采用温挤压工艺大大节约了昂贵的高温合金材料，并可实现少无切屑加工，明显降低了生产成本。同时，还可以使用边余料作为原材料冲出毛坯，如图 7-49 所示。

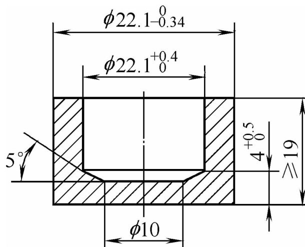


图 7-48　涡流器内环零件

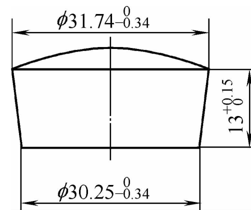


图 7-49　涡流器内环温挤压件的毛坯

高温合金温挤压工艺的特点与不锈钢温挤压加工类似，即变形抗力大，硬化率高和粘模能力强。

为了降低变形抗力，提高模具寿命，低温温挤压前应进行软化热处理（淬火）。一般原始毛坯硬度为 230HBW 左右。如采用温度 1150℃加热，保温 15min，在沸腾的水中冷却，硬度可降低至 160HBW 左右。这时，经电镜检查，晶界的碳化物已全部溶入奥氏体中，但奥氏体晶粒显著长大，热疲劳性能和高温塑性下降。而在 1100℃中加热，保温 15min，在冷水中或空气中淬火，材料硬度降至 170～178HBW。这时，晶界上的碳化物大部分已溶入固溶体，链状存在的方形 γ′相已经消失，晶粒长大不显著。因此，应采用 1100℃加热，在冷水中或空气中冷却的软化热处理工艺。

毛坯在温挤压前经草酸盐处理，使用二硫化钼 15%（质量分数）加氯化石蜡 85%（质量分数）作为润滑剂。

由于高温合金的粘附现象严重，实际生产中高温合金 GH1140 用的温挤压温度不宜高于 400℃。GH1140 在室温和在 340～380℃挤压时，其单位压力与变形程度的关系如图 7-50 所示。从该图可见，在 340～380℃温挤压时，反挤压变形程度不应大于 55%，正挤压变形程度不应大于 70%，极限变形程度的确定与所选用模具钢可承受的单位压力有关。具体采用毛坯加热温度为 360℃，保温 30min，使用电阻炉加热。反挤压一次成形，变形程度 48%。由于 GH1140 材料粘模，所以卸料力很大，有时可能

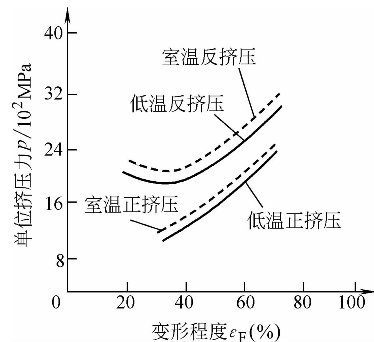


图 7-50　GH1140 单位挤压力与变形程度的关系

因此而造成凸模折断。因此，除注意润滑剂的选择和使用外，尚应精心设计和加工凸模。模具预热温度为 100～150℃。模具工作部分材料选用高速钢 W6Mo5Cr4V2。温挤压加工在曲柄压力机上进行。

7.8.5 铝合金温挤压工艺

硬铝合金 2A12 和超硬铝合金 7A04 是可热处理强化的铝合金，它们分别属于 Al-Cu-Mg 系和 Al-Zn-Mg-Cu 系，在工业中应用广泛，但其塑性指标低，属于低塑性材料。采用温挤压变形，不但可以降低其变形抗力，而且可以提高其塑性。

温挤压用毛坯经 410℃，保温 3h 的退火后，硬度可降至 63HBW 左右。挤压结束，零件空冷。用石墨加全损耗系统用油润滑模具。

图 7-51 和图 7-52 分别表示出了 2A12 和 7A04 铝合金在不同变形程度下复合挤压所需凸模单位压力和挤压温度的关系。由图可见，从室温到 400℃左右，凸模压力随温挤压温度升高都是降低较快的。超过 400℃以后，由于合金固溶强化作用有所增加，因而压力下降变缓。但是，7A04 合金在正挤压 $\varepsilon_{正}=75\%$ 和反挤压 $\varepsilon_{反}=32\%$ 的变形组合时有些例外。

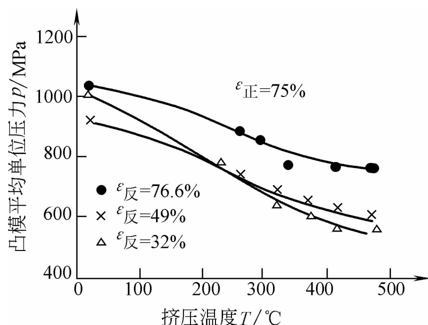


图 7-51　2A12 硬铝复合挤压凸模单位压力与挤压温度的关系

注：$\varepsilon_{正}$ 为正挤压变形程度；$\varepsilon_{反}$ 为反挤压变形程度。

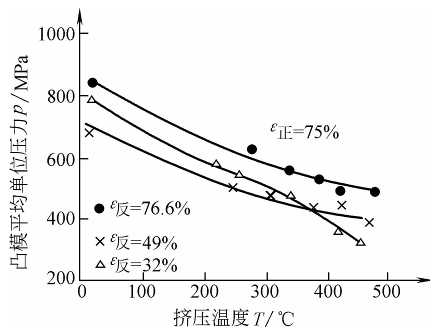


图 7-52　7A04 超硬铝复合挤压凸模单位压力与挤压温度的关系

注：$\varepsilon_{正}$ 为正挤压变形程度；$\varepsilon_{反}$ 为反挤压变形程度。

表 7-25 列出了 2A12 和 7A04 铝合金温热和室温复合挤压试验时，100 个试样中部分出现表面周期性裂纹试样的变形条件。在冷挤压时，全部试样不管其变形程度大小，均出现裂纹。超硬铝 7A04 在 200℃以上温挤压时，表面不再出现裂纹。但硬铝 2A12 在 260℃挤压时，仍出现裂纹。正挤压部分的变形程度 $\varepsilon_{正}$ 一定时，反挤压部分的变形程度 $\varepsilon_{反}$ 增大，使杯形内表面处出现裂纹的趋势增大。因此，为了防止产生周期性表面裂纹，在此变形程度时，2A12 温挤压温度应高于 300℃，7A04 应高于 200℃。

对复合挤压件纵截面的不同部位测其硬度值，然后算出产品的平均硬度。图 7-53 和图 7-54 分别表示出了 2A12 和 7A04 铝合金复合温挤压产品的平均硬度与挤压温度的关系。从室温到 300℃左右，产品平均硬度随挤压温度升高而略有下降或几乎不变，但

其值均高于退火毛坯硬度值（62～63HBW）。这说明尽管由于挤压温度升高，动态回复行为逐渐活跃，但仍有一定的冷作硬化。挤压温度超过 300℃，产品硬度开始上升。当挤压温度超过 400℃时，挤压件平均硬度已接近或超过原材料淬火时效状态的硬度水平（121～129HBW）。这是由于在 300℃以上，随着挤压温度升高，合金元素溶入基体更多，变形后空冷使合金保持部分甚至大部淬火效应，随后在室温自然时效而使强度提高。温度越高，这一效应越显著，因而产品硬度就越高；同时，还保留部分冷作硬化效应。因此，其硬度可能达到甚至超过淬火时效状态的水平。

表 7-25　2A12 和 7A04 铝合金温热和室温挤压试验时出现裂纹试样的变形条件

件号	材料	反挤压变形程度 $\varepsilon_{反}$（%）	挤压温度 T/℃	裂纹部位	
				杯部外表面	杯部内表面
1	7A04	76.6	室温	△	△
2		76.6	室温		△
3		49	室温		△
4		49	室温	△	
5		32	室温	△	
6		32	室温	△	△
7	2A12	76.6	室温	△	
8		49	室温		△
9		49	260	△	
10		49	255	△	
11		32	室温	△	△
12		32	235	△	
13		32	220	△	
14		32	255	△	

注：1. 正挤压变形程度 $\varepsilon_{正}=75\%$。
2. △表示出现裂纹。

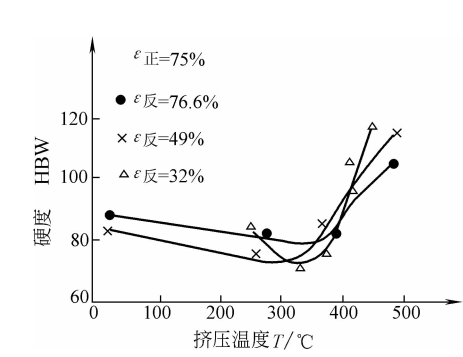


图 7-53　2A12 硬铝温挤压产品平均硬度与挤压温度的关系

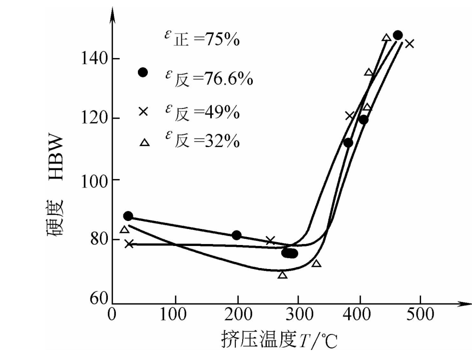


图 7-54　7A04 超硬铝温挤压产品平均硬度与挤压温度的关系

第 8 章　冷挤压压力机

8.1　概述

为了保证顺利地实施冷挤压生产加工，除了具有一副符合技术要求的冷挤压模具外，还应按生产的需要，选用相匹配的冷挤压设备型号及规格，因此，选择冷挤压设备型号及规格是十分重要的。

1. 冷挤压示功图

冷挤压过程与冲裁过程有很大区别，了解冷挤压工艺的特点对于正确使用压力机，提高模具使用寿命，有很大的帮助。

图 8-1 ~ 图 8-3 所示分别为正挤压、反挤压及复合挤压的挤压力与行程的关系图（简称示功图），图 8-4 所示为冲裁力与行程的关系图。

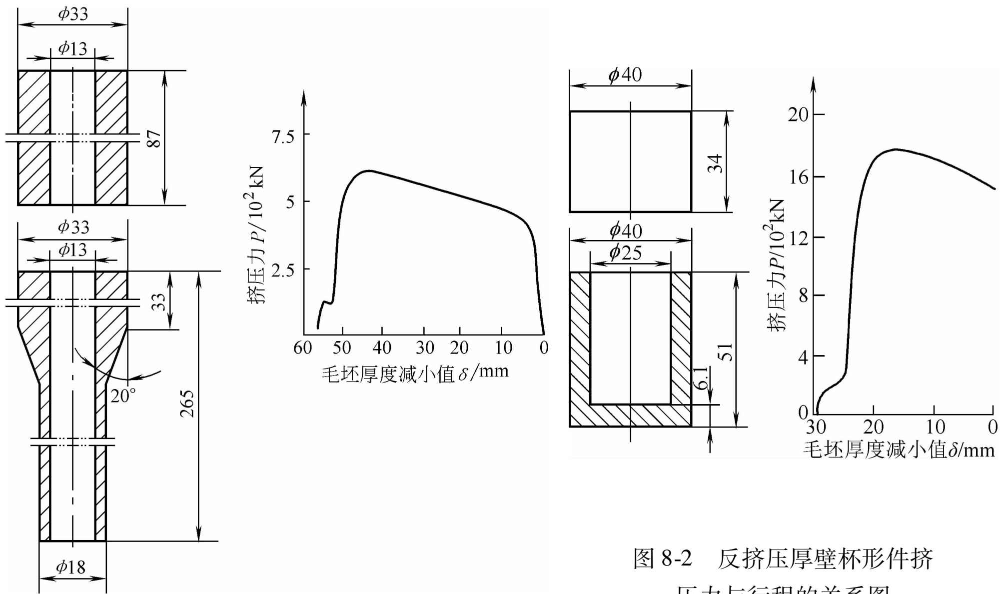


图 8-1　正挤压管接头挤压力与行程的关系图

注：材料为 12Cr18Ni9；润滑采用磷化、豆油。

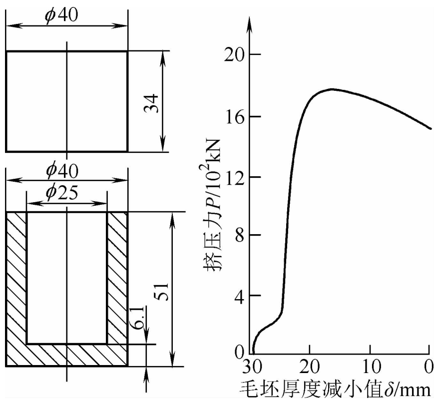


图 8-2　反挤压厚壁杯形件挤压力与行程的关系图

注：材料为 10 钢（经磷化处理）；润滑采用油脂。

在冷挤压的示功图上，第一个突变为凸模推动凹模中的毛坯，需要克服一定的摩擦力。滑块继续下降，压力急剧增高，使工件在凹、凸模之间产生塑性变形，此时的压力为最大值。工件从塑性变形开始到塑性变形结束，由于挤压时金属流动而使工件的温度

升高和摩擦力减少，使最大压力有所下降，但它的总趋势是压力从一开始就急剧上升直到挤压完成前，最大挤压力几乎保持不变。

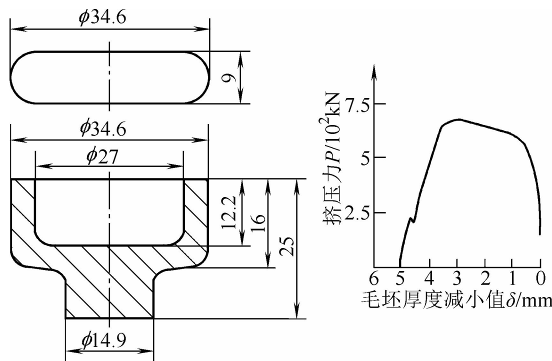


图 8-3　正反复合挤压挤压力与行程的关系图

注：材料为 20Cr 钢（经磷化处理）。

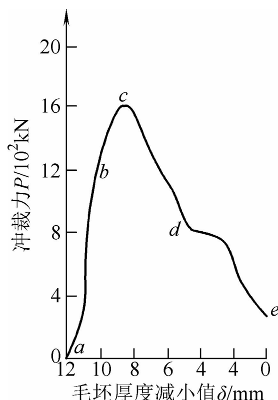


图 8-4　钢板冲裁

冲裁的示功图呈三角形，它有这么几个阶段：*ab* 段为弹性变形；*bc* 段为塑性变形并开始发生裂缝；*c* 点冲裁力达到最大数值后，材料全剪断，压力急剧下降。由此可知，冷挤压所需的工作能量比冲裁要大得多。

2. 压力机的基本要求

从以上分析可知，冷挤压时的单位挤压力很大，冷挤压件的精度要求高。因此，对冷挤压使用的压力机提出了一些特殊的要求。

（1）能量要大　从冷挤压加工的示功图来看，冷挤压加工的压力大，行程也很长，示功图几乎成矩形，所以冷挤压压力机需要很大的能量。

（2）刚性要好　冷挤压时，由于单位挤压力大及载荷集中，极易使模具和压力机产生变形。单靠模具导柱导套的导向是不能满足要求的，必须加强压力机床身和曲轴的刚性。压力机的刚性直接影响到冷挤压时凸、凹模的同轴度，压力机刚性差，很容易使凸模折断。C 字形结构的开式床身，由于冷挤压时会使床身产生角变形，使凸、凹模不同轴而使模具破坏或挤压件质量降低，稍大的角变形将使床身在转角处开裂。因此，为了保证较高的冷挤压件精度和较长的模具寿命，就必须要求压力机具有较好的刚性。

（3）导向精度要高　因为对冷挤压件的精度要求较高，因此，单靠模具的导向装置来导向是不能满足要求的。另外，当压力机的导向精度较低时，滑块下平面与工作台平面之间会产生倾斜，凸模会因受到附加弯曲应力的作用而折断。因此，为了保证冷挤压件的尺寸精度和较长的模具寿命，就必须要求压力机和滑块的导向精度要高。

（4）要具备顶出装置　冷挤压后，冷挤压件可能残留在凹模中，需要把它从凹模中顶出来。因此，要求压力机有结构简单的，在不拆卸下模的情况下能精确调节的顶出装置。顶出力一般应为压力机公称压力的 10% 左右，对于自动挤压机，顶出力为公称压力的 5% 。常用顶料装置有两种形式：一种是机械式，一般由凸轮控制，也有把顶料

装置和滑块用螺栓连接在一起，当滑块回程时顶出工件；另一种顶出装置则采用液压控制或液气控制的结构，它的动作必须与滑块有很好的配合。

（5）备有可靠的超载保险装置　在冷挤压过程中，往往由于预先未能估计到的原因而使压力机超载，如毛坯尺寸超差及材料热处理不合理等。为了保证在超载时压力机不致损坏，必须使压力机具有非常可靠的超负荷保险装置。小吨位通用曲柄压力机中，普遍采用压环式保险装置，放在连杆和滑块之间，超载时，保险装置被剪断，保护压力机零件不损坏。在专用冷挤压力机中，有些装有两个彼此无关的超负荷保险装置。其中一个是液压的，安装在滑块或台面中；另一个是机械的，安装在连杆上，两者均可按照需要进行压力调整。

（6）能提供合适的挤压速度　冷挤压加工是将大截面的毛坯压缩成小截面的挤压件。在挤压过程会有冲击作用，特别是当挤压速度较高时，上模接触金属毛坯的瞬间速度迅速降低而产生冲击。因此，要求用于冷挤压的压力机能提供合适的挤压速度。一般要求压力机具有较高的空程向下和回程速度，而当上模接触金属毛坯前，其速度能迅速下降，在挤压过程中，挤压速度应尽可能保持均匀。一般认为较好的挤压速度在 0. 1 ~ 0. 4m/s 范围内。

（7）具有润滑冷却装置　冷挤压时单位挤压力大，且在冷挤压过程中又会产生大量的热量。因此，用于冷挤压的压力机要求具有良好的润滑冷却装置，及时地向模具及被挤毛坯喷射润滑冷却液，进行强制性的润滑和冷却，从而延长模具使用寿命。

3. 压力机的类型

用于冷挤压的压力机主要有液压机和机械压力机两种，有时还可用非专门为冷挤压而设计的普通压力机及摩擦压力机，如图 8-5 所示。早期用于冷挤压的设备主要是液压机，近年来大多选用曲轴式或偏心齿轮式及肘杆式的机械压力机。它们机构的简图如图 8-6 所示。

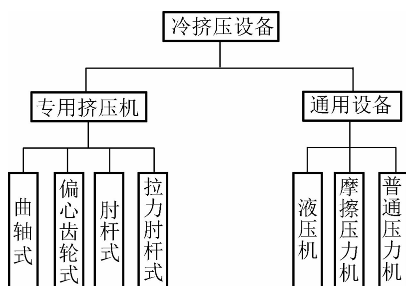


图 8-5　冷挤压设备分类

曲轴式或偏心齿轮式压力机使用最广泛，结构也简单，由电动机通过离合器带动曲轴或偏心齿轮传动，经连杆使滑块作上下往复运动。它的缺点是滑块的速度是随着滑块的行程而改变的，当滑块在 1/2 行程处，速度达到了最大值，滑块至下死点时，速度降为零，滑块速度的不均匀性很大。因此，开始挤压的速度也较大，在挤压开始时有冲击性，对模具寿命产生不良影响。

肘杆式（或拉力肘杆式）压力机，也由电动机通过离合器带动偏心轮或曲轴转动，再驱动肘杆机构带动滑块作往复运动。这两种结构的压力机与曲轴式压力机相比，滑块速度的变化较平稳，因此，开始挤压的速度也较小。缺点是滑块行程受结构限制不能很大，因此，不宜挤压工作行程较大的零件，只有对有色金属进行冷挤压时，由于一般变形程度都很大，不需要很大的工作行程即可挤出较长的零件，采用这种压力机是很理想的。

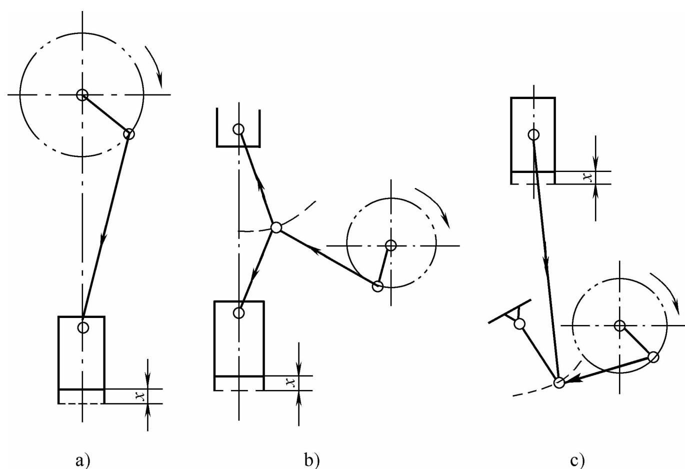


图 8-6　压力机机构简图
a）曲轴或偏心齿轮式　b）肘杆式　c）拉力肘杆式

8.2　机械压力机和液压机

1. 两种设备的比较

（1）行程次数　机械压力机的行程次数比液压机高得多，因此，生产率也高得多。但液压机在一定范围内可任意调节行程次数，而机械压力机却不能调节。

（2）行程长度　液压机比机械压力机的行程长度长，且可任意调节。因此，液压机可以挤压毛坯长度较长、能量要求较大的零件。

（3）压力大小　液压机能在整个行程中得到相同的压力和保持最高压力。而机械压力机根据行程位置不同发出的压力是变化的，在下死点附近可以发出公称压力，离下死点越远，发出的压力越小，在行程中点附近时，发出的压力仅为公称压力的 30% ~ 50%。

（4）下死点位置　机械压力机的下死点位置是一定的，而液压机是用限位开关来限定的，下死点的位置精度比机械压力机差得多。因此，对于保证良好的挤压件厚度精度来说，液压机不如机械压力机。

（5）电动机功率　机械压力机由于有飞轮积蓄能量，因此，电动机功率可以是冷挤压加工所需能量的几分之一，下次工作以前，仅需补充失去的那部分能量。液压机没有飞轮，在采用液压泵直接传动的液压机上，液压泵的电动机功率往往需要大于冷挤压所需的变形功率。因此，液压机比相同吨位的机械压力机电动机功率高得多。

（6）停滞性　一般来说，液体是不可压缩的。但当液体中溶入较多的空气，且承受 21MPa 左右的高压时，高压缸内的液体就有压缩性。这就会引起高压缸内高压液体的体积变化，有无负荷时高压缸容积的变化为 1% 左右，是液压机机身弹性变形的数倍。因此，在液压机上进行冷挤压加工，当凸模刚与被挤压毛坯接触时，会产生瞬间停

滞。这就会造成挤压负荷上升，缩短模具的寿命。但这种停滞现象能使压力机在行程终点时保持压力，减少回弹，提高冷挤压件的精度。机械压力机就没有这种停滞现象。

（7）侧压　机械压力机由于结构上的原因，会产生水平分力，促使导轨磨损，间隙加大，导向精度下降。当挤压凸模较长时，此水平推力是折断凸模的原因。液压机滑块不会产生水平方向的分力。

（8）超载保险装置　液压机有安全阀作为超载保险装置，比较安全可靠。机械压力机超载保险装置是机械式的，可靠性不如安全阀。

（9）维修和保养　液压机易漏损，需要经常更换密封装置，维修费比机械压力机高。

（10）自动送料装置　机械压力机的自动送料装置易于利用压力机驱动轴传动。因此，机械压力机上装设自动送料装置比液压机简单。

从上述两种设备的比较可知，两者各有特长，应视具体情况选用。一般来说，机械压力机主要用于冷挤压批量较大的中、小零件；而对于批量较小的大型零件，采用液压机较为合理。

2. 主要技术参数

压力机的主要技术参数反映了一台压力机的加工能力，所能加工零件的尺寸范围以及生产率等指标。它是供进行工艺设计时，选用合适的压力机用的。

（1）机械压力机的主要技术参数

1）公称压力。曲柄转角离下死点前某一角度或滑块离下死点某一距离时，滑块上所允许的最大工作压力，叫做公称压力，以 kN 为单位表示。机械压力机在加工中能安全地（压力机不致破坏，能保持加工时的零件尺寸精度和长期使用的精度）产生的最大压力。这个角度称为公称压力角，这段距离称为公称压力行程。通用曲柄压力机的公称角度一般为 25°～30°，冷挤压压力机的公称角度为 45°左右。

公称压力行程就是压力机距下死点前那段发出全部公称压力的行程，即有效工作行程，是压力机的一个重要参数。公称压力行程的大小，对冷挤压加工是相当重要的。理想的冷挤压压力机应该能够在其行程的中间位置给出全部额定吨位的压力。就是说，公称压力行程越大，对挤压加工越有利。当挤出部分较长或挤压零件的孔较深时，这一参数尤其重要。

在选择冷挤压设备时，通常的做法是使公称压力行程大于或等于需要的挤压行程。例如 JA31-160A 型闭式单点压力的公称压力行程为 11.6mm，就是说滑块在行至离下死点 A 前 11.6mm B 处，压力机才能发出 1600kN 的公称压力，见图 8-7。而在此行程之前，或相应的转角以前，压力机的压力均小于 1600kN。如果挤压件刚好需要 1600kN 的力量，则其挤压行程不得大于 11.6mm，如果大于 11.6mm，就意味着超载。

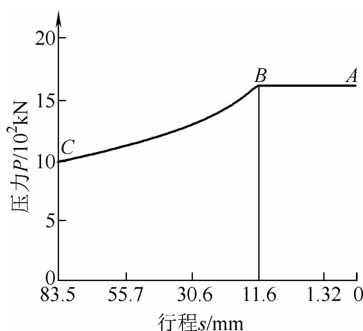


图 8-7　压力机滑块压力-行程曲线

2）许用能量。许用能量在压力机一次行程中可用 E 表示，可用下列公式求得

$$E = Ps \tag{8-1}$$

式中　E——许用能量（N · m）；

P——公称压力（N）；

s——公称压力行程（m）。

通常，在根据计算压力选定压力机之后，还必须对压力机的功率进行核算。因为压力机的压力取决于它的曲轴抗弯强度和齿轮齿廓的抗剪强度，而压力机的功取决于它的飞轮储备能量的大小、电动机输出功率的大小及其允许的超载能力。如果只计算压力，有可能因功率过载而使机械压力机飞轮转速急剧下降，电动机滑差，绕组过热而烧毁。这种现象常发生在挤压件较长和孔过深的情况下。

3）滑块行程。滑块从上死点到下死点所经过的距离，称为滑块行程。它等于曲轴半径的两倍。

4）滑块每分钟行程次数。滑块每分钟从上死点到下死点，然后再回到上死点所往复的次数，称为滑块每分钟行程次数。

5）封闭高度和装模高度。滑块在下死点时，滑块底面到工作台面的距离，称为封闭高度。封闭高度调节装置所能调节的距离，称为封闭高度调节量。当滑块在下死点时，滑块调整到上限位置，滑块底面到工作台面的距离，称为最大封闭高度；滑块调到最下位置，滑块底面到工作台的距离，称为最小封闭高度。封闭高度调节量等于最大封闭高度与最小封闭高度之差。

在行程的下死点将滑块调节到最短，在这种状态下测得的滑块和垫板之间的距离 H_{max}，称为压力机的最大装模高度，如图 8-8 所示。在压力机上能安装的模具最大高度 H，受这个尺寸限制。设计时，模具的封闭高度（在最低工作位置时的模具高度 H）应小于压力机的最大装模高度 H_{max}，即

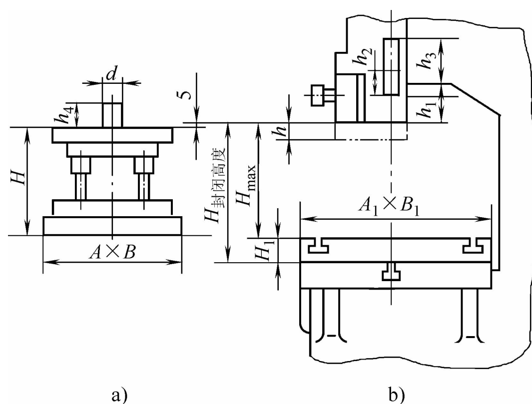


图 8-8　压力机装模空间与模具

a）模具　b）装模空间

$$H_{min} + 10\text{mm} \leqslant H \leqslant H_{max} - 5\text{mm} \tag{8-2}$$

式中　H_{max}——压力机最大装模高度（mm）；

H_{min}——压力机最小装模高度（mm），$H_{min} = H_{max} - h$（滑块调节量）。

一般新设计模具的封闭高度都接近于压力机的最大装模高度。若模具的封闭高度过小，可在压力机台面上加放垫板。

通常，在设备说明书中给出的压力机封闭高度，等于压力机的最大装模高度 H_{max} 加上垫板的厚度 H_1。因此，确定压力机的最大装模高度时，须从它的封闭高度尺寸减去

垫板的厚度，而最小装模高度，还要减去滑块的调节量。例如 J23-100 型 1000kN 压力机，说明书中标明其封闭高度为 400mm，滑块调节量为 110mm，垫板厚度为 100mm，那么压力机的最大装模空间，即模具最大封闭高度为（400 - 100） mm = 300mm，最小封闭高度为（400 - 100 - 110） mm = 190mm。

6）滑块底面尺寸。滑块部件是压力机工作的执行机构，其上下运动由曲柄连杆机构传动。滑块上有模柄孔，还装有供打料用的活动横梁。在大中型的压力机上，滑块底面开有 T 形槽。

设计时，模具的上模座（板）尺寸，模柄尺寸，上模座的安装固定部位应尽量与压力机滑块底面尺寸、模柄孔尺寸（直径、深度）和滑块底面 T 形槽尺寸相适应。安装在压力机滑块上的上模座最大平面尺寸是根据滑块底面积决定的。在滑块上安装上模座的方法主要有两种。在小型压力机上，一般把模柄插入滑块的模柄孔内，用六角螺栓紧固模柄，防止上模挤压时受振移动。图 8-9a 所示是在小型压力机上常见的滑块底面结构。图 8-10 所示是 J23-80 型压力机的滑块底面结构。其滑块的底面有 T 形槽，用于紧固模具，或用于安装冷挤压卸料联动装置的一对拉杆。在大中型压力机上，模具的上模部分一般用 T 形螺栓直接紧固在压力机的滑块上，或采用压板和 T 形螺栓紧固。设计时，要注意 T 形槽的布置和尺寸。图 8-9b 所示是大型压力机滑块底面上常见的 T 形槽形式。

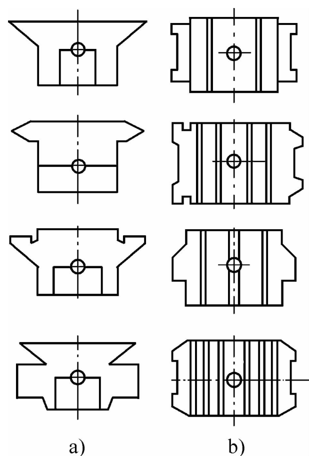


图 8-9　滑块底面的结构

a）小型压力机　b）大型压力机

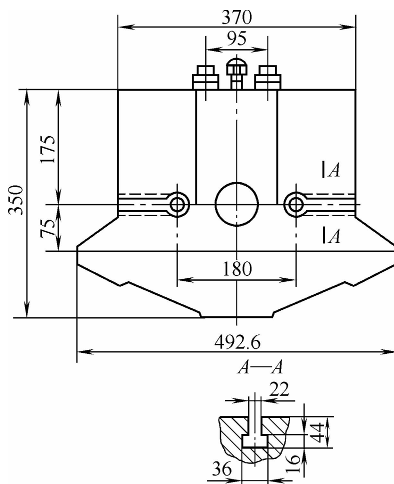


图 8-10　J23-80 型压力机的滑块底面结构

无论是小型还是大中型压力机，在其滑块体上都开有一个截面为长方形的通槽，其中安装着活动横梁，供退料和顶件用。活动横梁在滑块上升时被固定在机身上的退料支架螺钉推下，而顶出工件或废料。设计时推件行程应小于活动横梁在滑块内的浮动量 $h_3 - h_2$，如图 8-8 所示。

7）工作台尺寸。压力机的工作台尺寸是指工作台的前后、左右的距离和台面上所开孔的大小。如果模具直接安装在工作台面上，此时模具的平面尺寸应比工作台面尺寸略小，并留有固定模具的空间余地。一般情况下，模具的最大轮廓尺寸较工作台平面尺寸小 30 ~ 50mm。台面上所开各种形式的孔，主要供漏料（工件或废料）或安装冷挤压件退出装置用。常用的几种工作台面形式如图 8-11 所示。

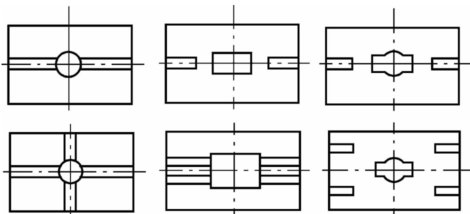


图 8-11　常用的几种工作台面形式

8）垫板尺寸。通常在压力机的工作台面上，安装附设一块可以自由取下的工作垫板。模具的下模座便安装在这块垫板上。因此，下模座的最大轮廓尺寸是根据垫板平面尺寸决定的。为了固定下模，垫板上开设 T 形槽。常见的垫板形式和垫板上 T 形槽的形式，如图 8-12 和图 8-13 所示。

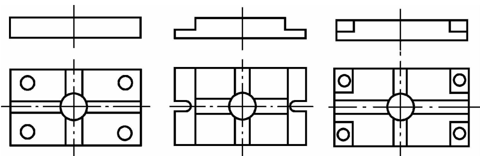


图 8-12　垫板形式

一般来说，压力机附带的通用垫板都很薄，而且中心孔又很大，不适合于集中载荷较大的挤压加工，应该将其加厚并缩小中心孔，同时采用铸钢代替一般的铸铁。图 8-14 所示是 J23-40 型压力机上经改进的垫板。图 8-14b 所示垫板挤压时的弹性变形很小，几乎察觉不到，可将挤压件的轴向尺寸控制在 0. 02 ~ 0. 04mm 范围内。

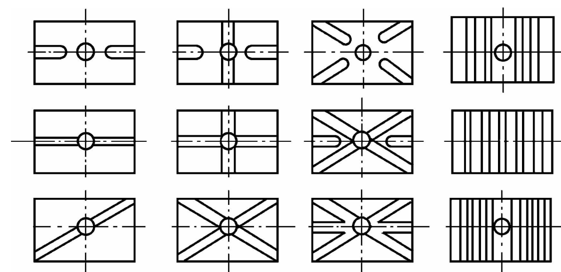


图 8-13　垫板上 T 形槽的形式

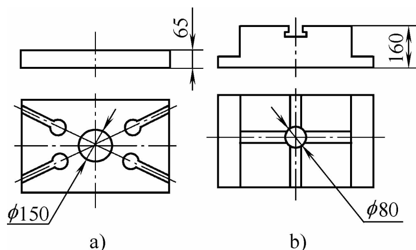


图 8-14　改进的垫板

a）压力机自带垫板　b）改进后的铸钢厚垫板

机械压力机的技术参数标准见附录中的表 B-1 ~ 表 B-7。

（2）液压机的主要技术参数

1）公称压力。液压机名义上能发出的最大力量，称为公称压力。它在数值上等于工作液体压力和工作柱塞总工作面积的乘积。

2）最大净空距。活动横梁停在上限位置时，从工作台表面到活动横梁下表面的距离，称为最大净空距。单臂式液压机的最大净空距为工作缸底的下平面至工作台上表面的距离。

3）最大行程。活动横梁位于上限位置时，活动横梁上的立柱导套下平面到立柱限

程套上平面的距离为液压机的最大行程，即活动横梁能够移动的最大距离。

4）立柱中心距。立柱中心距是指立柱中心线在宽边和窄边的距离。它反映四柱式液压机平面尺寸上工作空间的大小。单臂式液压机在平面尺寸上影响工作空间大小的参数是喉深。喉深是指单臂式液压机工作缸中心线到机架内侧表面的距离。

5）回程力。液压机回程时的最大力称为回程力。

6）允许最大偏心距。允许最大偏心距是指当制件变形阻力接近公称压力时，液压机所能允许的最大偏心值。

7）活动横梁运动速度。活动横梁运动速度分为工作行程速度及空程速度两种。

8）工作台尺寸。即工作台前后、左右的距离。

液压机的技术参数标准见表 B-8。

8.3　压力机吨位的选择

1. 冷挤压工艺与压力机的关系

图 8-15 表示压力机曲柄回转时，压力随着曲轴转角 α 的改变而改变的情况。当滑块在行程中点时，压力仅为公称压力的 35% ~50%，当滑块在下死点时，压力达到最大值。滑块从行程中点到下死点相对于曲柄从 90°到 0°是所要讨论的区域。

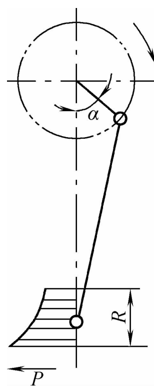


图 8-15　压力机压力的变化情况

每台压力机都有一个压力吨位指标，即公称压力。一般压力机说明书上都不注明工作角度和工作行程，仅注明滑块行程。应指出，滑块行程和滑块工作行程是两个不同的概念。曲柄旋转一周，滑块上下运动的距离称为滑块行程；滑块工作行程是指滑块接近下死点前产生公称压力的那一段行程，可见，滑块工作行程是滑块行程的一部分。

通用曲柄压力机，公称压力仅产生在曲柄离下死点 30°以下的区段内。在 30°前压力较小，这种压力变化的情况，对于大部分的挤压过程是不理想的，特别对挤压行程较长的零件，更不适用。

目前用于冷挤压的偏心齿轮式压力机，其工作角度一般为 40° ~50°，这样就能适合冷挤压工艺的特点，比通用曲柄压力机具有大得多的能量。

图 8-16 表示为不同类型压力机的示功图，分析一下图中的示功图可以看出：

1）同样 1600kN 但结构是偏心齿轮式的冷挤压力机，其功比通用曲柄压力机要大得多。通用压力机用做冲裁等工序用时，工作角度都设计在 30°以下范围内，虽工作能量较小，但完全满足了冲裁工艺的特点。偏心齿轮式压力机用于冷挤压，为了适合冷挤压工艺需要足够大的工作能量，所以工作角度一般设计得较大。如果生产单位不具备这种结构的压力机，在通用曲柄压力机上进行冷挤压时，就要特别注意，最好预先能在液压机上检测一下挤压力，以免发生压力机超载事故。

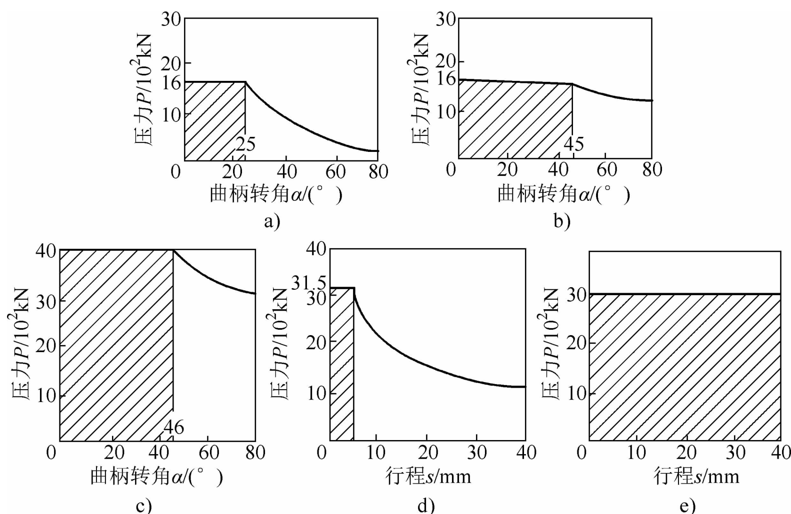


图 8-16　各种压力机示功图

a）1600kN 闭式单点压力机　b）1600kN 偏心齿轮冷挤压力机　c）4000kN 偏心齿轮冷挤压力机　d）3150kN 肘杆压力机　e）3000kN 油压机

2）肘杆式压力机的公称压力仅产生在滑块离下死点前 3 ~ 10mm 很小的范围内，这种压力机仅适用于反挤压高度很小的毛坯和变形程度很大的有色金属。

3）液压机具有均匀的工作速度，在离下死点前很长一段滑块行程内，保持平稳的公称压力；在挤压开始时，模具和毛坯接触的速度也较小，因此，模具寿命也较高；若挤压过程中发生超载情况，液压机都有安全阀，所以也较安全。它还具有另一个优点，顶料行程可以很长，特别适合挤压行程长的零件，不像机械压力机滑块行程一般都较小，挤压长零件便取不出来。

液压机也有其缺点，如生产率很低，下死点难以控制，自动送料不如机械压力机容易实现。但是，液压机结构比机械压力机要简单得多，小型液压机制造也快，目前有很多零件还是在液压机上进行冷挤压的，在生产批量不大的情况下，这种设备还是合适的。

图 8-16 还表明，压力 P 是随着曲柄转角 α 或行程 h 的改变而变化的。图 8-16 又称为压力机许用负荷图。当进行冷挤压或冲裁等工作时，最大挤压力或冲裁力必须在图示曲线以下，不得超越这根曲线。有时最大挤压力未超过压力机公称压力，但由于工件挤压行程很长，其挤压力也会超越曲线，这是不允许的。图 8-17 所示为把冲裁、弯曲和冷挤压等工艺的示功图和压力机的许用负荷图画在一起的情况。从该图中可以看出，通用曲柄压力机可以用于冲裁、弯曲和工作行程很短的冷挤压等工序，不适宜挤压行程长的工件。如果要进行这种工序，就会产生像图 8-17d 的现象，最大挤压力超过了许用压力曲线，这是要防止的。因此，在选择压力机时，不仅仅要考虑到最大挤压力，还要注

意它的行程长短，挤压力较小而挤压行程很长的工件照样会使压力机超载，这在通用压力机上冷挤压时要特别引起注意。

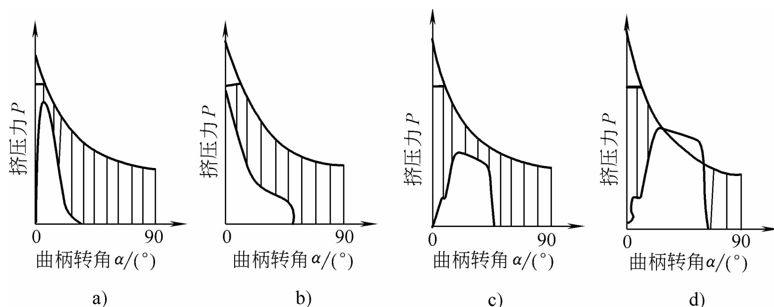


图 8-17　压力机许用负荷与工艺示功图

a）冲裁　b）弯曲　c）挤压（正确）　d）挤压（不允许）

2. 选择压力机吨位

根据实际生产的情况可知，当求出所需的挤压力以后，仅以此为依据去选择压力机的名义吨位是不够的，还必须把冷挤压工艺示功图与压力机许用负荷图画在一起，校核冷挤压时的压力-行程曲线是否在压力机的许用负荷曲线以内。如果冷挤压的压力-行程曲线超出压力机的许用负荷曲线，就应该选择更大名义吨位或工作行程更长的压力机。

由上述分析可以看出，压力机吨位的正确选择方法，除了先按总压力计算公式求得的挤压力来选择压力机的名义吨位以外，还应使挤压时的压力-行程曲线不超出压力机的许用负荷曲线。此外，还要考虑所设计的模具高度尺寸是否在压力机的装模高度以内。如果模具高度超出压力机的装模高度，就应选择更大吨位的压力机。

第9章　冷挤压模具的装配及使用

9.1　冷挤压模具的装配

冷挤压模具的装配，就是把它们的组成零件按照图样的要求连接或固定起来成为各种组件、部件，最后将所有的零件、组件和部件连接或固定起来成为模具，并能够生产出合格制件的过程。

把模具零件装配成组件、部件和最终成为模具的过程，称为模具的组件装配、部件装配和总装。

在装配过程中，既要保证配合零件的配合精度，又要保证零件之间的位置精度；对于具有相对运动的零（部）件，还必须保证它们之间的运动精度。模具装配精度的高低及质量的好坏，都直接影响制件生产是否正常进行及制件的尺寸、几何精度及成本。因此，模具的装配是模具制造过程中的重要环节。

模具装配工作主要包括两个方面：一是将加工好的模具零件按图样要求进行组件装配、部件装配乃至总体的装配；二是在装配过程中进行一部分的补充加工，如配作、配修等。

1. 冷挤压模具装配的技术要求

1）装配好的凸模的闭合高度应符合设计要求。

2）模柄（活动模柄除外）装入上模座后，其轴心线对上模座上平面的垂直度误差在全长范围内不大于0.05mm。

3）导柱和导套装配后，其轴心线应分别垂直于下模座的底平面和上模座的上平面，其垂直度误差应符合模架分级技术指标的规定。

4）上模座的上平面应和下模座的底平面平行，其平行度误差应符合模架分级技术指标的规定。

5）装入模架的每一对导柱和导套的配合间隙值（或过盈量）应符合导柱、导套配合间隙的规定。

6）装配好的模架的上模座沿导柱移动应平稳，无阻滞现象。

7）装配后的导柱的固定端面与下模座下平面应留有1~2mm距离。

8）凸模和凹模的配合间隙应符合设计要求，沿整个刃口轮廓应均匀一致。

9）定位装置要保证定位正确可靠。

10）卸料及顶件装置活动灵活、正确，出料孔畅通无阻，保证制件及废料不卡在凹模内。

11）模具应在生产的条件下进行试验，冷挤压出的制件应符合设计要求。

由于模具制造属于单件小批生产，在装配工艺上多采用修配法和调整法来保证装配精度。

2. 冷挤压模具的装配方法

要制造出一副合格优质的冷挤压模具，除了保证冷挤压模具零件的加工精度外，还需要一个合理的装配工艺来保证冷挤压模具的装配质量。装配工艺主要根据冷挤压模具的类型、结构而确定。

冷挤压模具的装配方法主要有两种。

（1）修配装配法　修配装配法是将指定零件的预留修配量修去，达到装配精度要求的方法。该法在模具装配中应用广泛，适用于单件或小批量生产的模具装配工作。常用的修配方法有以下两种。

1）指定零件修配法。指定零件修配法是在装配尺寸链的组成环中，指定一个容易修配的零件为修配件（修配环），并预留一定的加工余量，装配时对该零件根据实测尺寸进行修磨，达到装配精度要求的方法。

指定修配的零件应易于加工，而且在装配时它的尺寸变化不会影响其他尺寸链。如图 9-1 所示钢铁材料反挤压模，装配后要求支承套 5 的上平面和凹模 2 的下平面及支承套的下平面和垫块 6 的上平面同时接触。为了保证零件的加工和装配简化，选择支承套为修配环。支承套的上、下平面在加工时预留一定的修配余量，其大小可根据具体情况或经验确定。修配前应进行预装配，测出实际的修配余量大小，然后拆开支承套按测出的修配余量修配后，再重新装配达到装配要求。

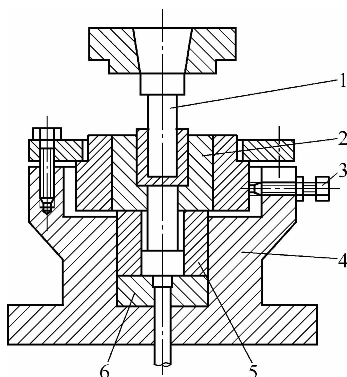


图 9-1　钢铁材料反挤压模
1—凸模　2—凹模　3—调整螺钉
4—模座　5—支承套　6—调整垫块

2）合并加工修配法。合并加工修配法是将两个或两个以上的配合零件装配后，再进行机械加工使其达到装配要求的方法。

几个零件进行装配后，其尺寸可以作为装配尺寸链中的一个组成环对待，从而使尺寸链的组成环数减少，公差扩大，容易保证装配精度的要求。图 9-2 所示凸模和固定板装配后，要求凸模上端面和固定板的上平面为同一平面。采用合并加工修配法后，在加工凸模和固定板时对 h_1 和 h_2 尺寸就不必严格控制，而是将凸模和固定板装配后，再进行磨削上平面，以保证装配要求。

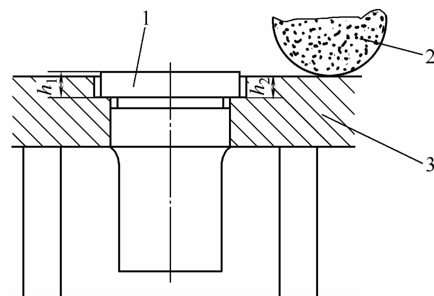


图 9-2　合并加工修配法
1—凸模　2—砂轮　3—固定板

（2）调整装配法　调整装配法是用改变模具中可调整零件的相对位置或选用合适的调整零件，以达到装配精度的方法。

1）可动调整法。可动调整法是在装配时用改变调整件的位置来达到装配精度的方法。例如，图 9-1 所示为用螺钉调整冷挤压模具中凸、凹模之间的间隙。转动调整螺钉，可使它们之间保持适当的制件均匀壁厚尺寸。此法不用拆卸零件，操作方便，应用广泛。

2）固定调整法。固定调整法是在装配过程中选用合适的调整件，达到装配精度的方法。例如，图 9-1 所示冷挤压模具高度位置的调整，可通过更换调整垫块 6 达到装配精度的要求。调整垫块可制造成不同厚度，装配时根据预装配时对制件底厚的测量结果，选择一个适当厚度的调整垫块进行装配，达到所要求的高度位置。

3. 冷挤压模具的装配要点

冷挤压模具装配应遵循以下要点。

（1）要合理地选择装配方法　在零件加工中，若全采用电加工、数控机床等精密设备加工，由于加工出的零件质量及精度都很高，且模架又采用外购的标准模架，则可以采用直接装配法。如果所加工的零部件不是专用设备加工，模架又不是标准模架，则只能采用配作法装配。

（2）要合理地选择装配顺序　冲模的装配，最主要的是应保证凸、凹模的间隙均匀。为此，在装配前必须合理地考虑上、下模装配顺序，否则在装配后会出现间隙不易调整的麻烦，给装配带来困难。

（3）要合理地控制凸、凹模间隙　合理地控制凸、凹模间隙，并使其间隙在各方向上均匀，这是冷挤压模装配的关键。在装配时，如何控制凸、凹模的间隙，这要根据冷挤压模的结构特点、间隙值的大小，以及装配条件和操作者的技术水平与实际经验而定。

（4）要进行试模及调整　冷挤压模装配后，一般要进行试模。在试模时，若发现缺陷，要进行必要的调整，直到冷挤压出合格的零件为止。

4. 装配顺序选择

冷挤压模的装配顺序主要与模具类型、结构、零件制造工艺及装配者的经验和工作习惯有关。冷挤压模装配原则是将模具的主要工作零件如凹模、凸模、凸凹模选为装配的基准件，一般装配顺序为：选择装配基准件→按基准装配有关零件→控制并调整凸模与凹模之间间隙均匀→再装入其他零件或组件→试模。

在一般情况下，当冷挤压模零件装入上、下模板时，应先安装作为基准的零件，通过基准件再依次安装其他零件。当安装后，经检查若无误，可以先钻铰销钉孔，拧入螺钉，但不要固定到位，待到试模合格后，再将其固定到位，以便于试模时调整。

9.2　冷挤压模具的试模

冷挤压模装配后，必须通过试模对制件的质量和模具的性能进行综合考查与检测。对试模中出现的各种问题，应全面、认真地分析，找出其产生的原因，并对冷挤压模进行适当的调整与修正，以得到合格的制件。

1. 冷挤压模试模与调整的目的

冷挤压模的试模与调整简称调试。调试的主要目的如下所述。

（1）鉴定制件和模具的质量　在模具生产中，试模的主要目的是确保制件的质量和模具的使用性能。制件从设计到批量生产需经过产品设计、模具设计、模具零件加工、模具组装等多个环节，任一环节的失误都会引起模具性能不佳或制件不合格。因此，冷挤压模组装后，必须在生产条件下进行试模并根据试模后制出的成品，按制件设计图，检查其质量和尺寸是否符合图样规定，模具动作是否合理可靠。根据试模时出现的问题，分析产生的原因，并设法加以修正，使模具不仅能生产出合格的零件，而且能安全稳定地投入生产。

（2）确定成形制件的毛坯形状、尺寸及用料标准　冷挤压模经过试模制出合格样品后，可在试模中掌握模具的使用性能，制件的成形条件、方法及规律，从而可对模具能成批生产制件时的工艺规程制订提供可靠的依据。

（3）确定工艺设计、模具设计中的某些设计尺寸　在冷挤压模生产中，有些形状复杂或精度要求较高的冷挤压制件，很难在设计时精确地计算出变形前的毛坯尺寸和形状。为了能得到较准确的毛坯形状、尺寸及用料标准，只有通过反复地调试模具后，使之制出合格的零件才能确定。

2. 冷挤压模的调整要点

（1）凸、凹模配合深度调整　冷挤压模的上、下模要有良好的配合，即应保证上、下模的工作零件（凸、凹模）导入深度适中，不能太深与太浅，应以能冷挤压出合适的零件为准。凸、凹模的配合深度，是依靠调节压力机连杆长度或增减垫板厚度来实现的。

（2）凸、凹模间隙调整　冷挤压模的凸、凹模间隙要均匀。对于有导向零件的冷挤压模，其调整比较方便，只要保证导向件运动顺利而无发涩现象即可保证间隙值；对于无导向的冷挤压模，可以在凹模口周围衬以纯铜皮或硬纸板进行调整，也可以用透光及塞尺测试等方法在压力机上调整，直到上、下模的凸、凹模互相对中，且间隙均匀后，用螺钉将冷挤压模紧固在压力机上，进行试模。试冷挤压后检查一下试制的零件，看是否有明显毛刺，并判断零件质量，如果试制的零件不合格，应松开下模，再按前述方法继续调整，直到间隙合适为止。

（3）顶料系统的调整　顶料系统的调整主要包括顶件器是否工作灵活；顶料弹簧力是否足够；顶料器的运动行程是否足够；漏料孔是否畅通无阻；打料杆、顶料杆是否能顺利顶出制件。若发现故障，应进行调整，必要时可更换。

3. 冷挤压模的调整方法

冷挤压模的调整方法见表 9-1。

表 9-1　冷挤压模的调整方法

序号	缺陷种类	产生原因	调整方法
1	正挤压件外表产生裂纹（环形）及鱼鳞状裂纹，内孔产生裂纹	1）凹模锥角偏大 2）凹模结构不合理 3）润滑不好 4）材料塑性不好	1）修整、减少凹模锥角 2）采用两层工作带的正挤压凹模结构 3）改用性能良好润滑油 4）改用塑性好的材料或加中间退火工艺

（续）

序号	缺陷种类	产生原因	调整方法
2	正挤压件端部产生缩孔	1）凹模工作带尺寸太大 2）凹模锥角偏大 3）凹模入口处圆角太小 4）凹模表面不光洁 5）凸模端面太光亮 6）毛坯润滑不良	1）减少凹模工作带尺寸 2）修正凹模，使锥角偏小 3）加大凹模入口处圆角 4）将凹模表面抛光 5）降低凸模表面粗糙度 6）采用良好的表面处理工艺及润滑方法
3	反挤压件内孔产生环状裂纹	1）毛坯表面处理及润滑不好 2）凸模表面不光洁 3）毛坯塑性不好	1）采用良好的毛坯表面处理及润滑方法。如对 2A11、2A12 进行冷挤压，最好经表面磷化处理后再使用工业菜籽油润滑 2）对凸模进行抛光 3）采用热处理软化提高毛坯的塑性
4	反挤压件单面起皱	1）凸凹模间隙不均匀 2）润滑不均匀	1）调整凸、凹模，使间隙均匀分布 2）采用性能良好的润滑剂，并均匀润滑
5	反挤压件表面产生环状裂纹	1）毛坯直径太小 2）凹模型腔不光洁 3）毛坯表面处理及润滑不好 4）毛坯塑性太差	1）增加毛坯直径，使毛坯与凹模内孔配合紧一些，最好使毛坯直径大于凹模型腔直径 0.01 ~ 0.02mm 2）对凹模进行抛光 3）采用良好的表面处理及润滑技术 4）采用较好的软化处理规范，提高毛坯的塑性
6	矩形件挤压后开裂	1）凸、凹模间隙不合理 2）凸模工作圆角半径不合理 3）凸模结构不合理 4）凸模工作端面锥角不合适	1）调整时，矩形的长边间隙应小于短边间隙值 2）矩形长边圆角半径应小于短边圆角半径 3）矩形长边工作带应大于短边工作带 4）矩形长边锥角应大于短边锥角
7	反挤压薄壁零件挤压后壁部缺少金属，即有孔出现或局部壁很薄	1）凸、凹模间隙不均匀 2）上、下模板不平行或凸模对凹模不垂直、偏斜 3）润滑剂使用太多 4）凸模细长，稳定性较差	1）重新调整间隙，使之均匀分布 2）重新装配，使之凸模垂直凹模平面 3）少涂润滑剂 4）在凸模工作面加开工艺槽，提高稳定性

（续）

序号	缺陷种类	产生原因	调整方法
8	挤压表面被刮伤	1）凸、凹模硬度不够 2）毛坯表面处理及润滑不好	1）重新淬火提高硬度 2）凸、凹模表面镀硬铬或渗硼处理，使硬度提高 3）采用良好的表面处理工艺及润滑技术
9	反挤压件表面产生环状波纹	润滑不好	改用皂液润滑方法进行润滑
10	反挤压件上端壁厚大于下端壁厚	凹模型腔退模锥度太大	减少或不采用退模锥度
11	反挤压件上端口部不直	1）凹模型腔太浅 2）卸件板安装高度小	1）增加凹模型腔深度 2）提高卸件板安装高度，避免工件上端与卸件板相碰
12	反挤压件侧壁底部变薄及不稳定	1）毛坯退火硬度不均匀 2）毛坯尺寸超差 3）润滑不均匀	1）提高毛坯退火质量 2）适当控制毛坯尺寸 3）改进润滑方法及提高润滑质量
13	正挤压件发生弯曲	1）模具工作部位形状不对 2）润滑不均匀	1）修改模具工作部位，使之符合图样要求 2）改进润滑质量及方法
14	空心挤压件壁厚相差太大	1）毛坯退火硬度不均 2）凸、凹模不在同一轴心线上 3）导向不好 4）反挤压毛坯直径太小，放在凹模内太松引起挤压偏斜	1）修理退火工艺，使之质量提高 2）重新装配 3）调整提高模具导向精度 4）加大毛坯直径，与凹模配合严密
15	正挤压空心件侧壁断裂	凸模芯轴露出凸模长度太长	减少芯轴长度，使其露出长度与毛坯孔深度相适应，一般为0.5mm为宜
16	正挤压零件侧壁皱曲	凸模芯轴露出凸模长度太短	增加芯轴长度
17	挤压件金属填不满	在挤压时，型腔内有空气存在	在型腔内开设通气孔

9.3　冷挤压模具失效与使用寿命

冷挤压生产中，因种种原因，使模具受到损坏而不能冷挤压成形出合格的制件，称

为模具失效。模具在失效之前所冷挤压成形出的产品件数，称为模具的使用寿命，简称模具寿命。

模具远在报废之前，由其加工的制件就有可能出现质量低劣的现象。这在多数情况下，通过适当手段修复后，模具又可继续使用。但是，模具允许修复的次数是有限的。因此，对于每一套模具来说皆有一个质量好坏的使用寿命指标。然而，由于影响模具失效的因素很多，有些因素还难以预测，因此，所谓模具的使用寿命，实际上指一个大致的情况。

冷挤压模具工作条件极其恶劣。冷挤压凸模的受力情况随挤压方法的不同而异。正挤压凸模主要承受压应力的作用；而反挤压凸模或复合挤压凸模，在挤压工作行程时，承受着很大的压应力作用，在回程时则承受较小的拉应力，这个拉、压应力是交变产生的。不论是正挤压还是反挤压往往还受到偏心负荷所引起的弯曲应力的作用。由此可以看出，冷挤压凸模受到拉、压和弯曲应力的综合作用，其受力状态是比较复杂的。

冷挤压凹模内壁由于承受着较大的内压力作用，从而使凹模的圆周方向上作用着较大的拉应力。

此外，冷挤压成形是在很短时间内完成的，且将大截面的毛坯变成小截面的挤压件，从而使模具承受着交变的冲击载荷。冷挤压过程中的热效应以及模具工作表面受到的剧烈摩擦作用，使挤压件温升高达 300～400℃，从而使模具在工作时温度升高，不工作时温度又有下降，这就是说模具还承受着冷热交变应力的作用。

如此苛刻的工作条件，使得冷挤压模具的使用寿命比其他模具要短得多。因此，为了延长模具的使用寿命，降低产品成本，提高经济效益，查明模具失效的原因，并采取有效的措施加以解决，对于冷挤压模具来说显得比其他的模具更为重要。

模具失效的种类按其发生时间的早晚，大致上可分为两种：早期失效和正常失效。由于模具的突然冲击破裂、塑性变形、粘附以及过早的磨损和开裂等原因造成的失效是属早期失效，而当模具达到正常寿命之后由于磨损或疲劳开裂、热裂等原因造成的失效均属正常失效。关于早期失效与正常失效的数量界线，不能用一个固定不变的数字来表示，它与所挤压零件的材料、形状、尺寸、精度、模具设计及加工等因素有关。在当前技术条件下，对于冷挤压模具来说，寿命不超过 1000 件的属早期失效，随着冷挤压技术的发展这个数字将有所增大。

9.4　冷挤压模具损坏的检查方法

模具损坏的检查方法与其他零件的检查方法相似，主要有模具的外表和内部检查两方面。

1. 检查模具外表

用肉眼检查损坏的模具，查明模具损坏的原因，称为外表检查。其主要内容有以下几点。

1）检查整个工艺过程是否合理，操作人员是否按规程操作，分清模具损坏是责任

事故，还是技术上的问题。

2）检查整个模具工作部分的塑性变形情况：凸模有无镦粗、弯曲，凹模有无塌陷、内孔扩大等。

3）检查机加工和热加工质量情况：有无折叠、斑疤、刀痕、刮伤等。

4）检查模具的结构形状是否合理，凸模的长径比是否符合规定，凹模的外内径之比是否在 4 ~ 10 范围之内，圆角半径的大小是否合理等。

5）检查断口表面的纹斑和特征，鉴别是韧断、脆断，还是疲劳断裂。

6）检查模具表面有无腐蚀、粘附、磨损和麻点等损伤情况。

2. 检查模具内部

当用外表检查无法查明模具的损坏原因时，就要进行内部检查。其主要内容包括以下两方面。

（1）断口分析　在宏观检查断口的基础上，寻找可疑的部位，再用光学显微镜进行检查，以了解断口的微观特征。有条件的最好能用扫描电镜检查断口，这是由于光学显微镜的放大倍数最高只有 2000 倍左右，且焦距短、景深小，难以用于高倍放大观察具有很大起伏的断口表面；而扫描电镜的放大倍数比光学显微镜大得多，且从低倍到高倍可以很方便地进行调整。此外，扫描电镜还兼有分辨率高和景深大的优点，即使对于高低不平的断口，也能清晰地显示出微观特征。

（2）理化检验　理化检验主要包括无损探伤、化学成分分析、金相分析以及力学性能检验四种常用的检测手段。它们的应用范围分别介绍如下。

1）无损探伤主要用于检查模具零件的表面和内部裂纹，常用的方法有磁粉探伤、超声波探伤、X 射线探伤等。

2）化学成分分析常用来检查模具材料的化学成分，查明原材料质量对模具失效的影响。

3）金相分析主要用于检查模具材料的金相组织，查明锻造工艺、热处理工艺等对模具失效的影响。

4）力学性能检验主要是检查硬度、强度、韧性等，查明模具的硬度、强度、韧性以及耐磨性、热硬性等对模具失效的影响。

此外，还有一些更先进的理化检验手段，如光谱分析、X 射线结构分析、电子显微镜分析、电子探针分析等。究竟采用哪些项目进行检验，应视具体条件而定。

3. 常见的损坏形式

冷挤压模具的主要损坏形式有三种，即磨损、变形和破裂。

（1）磨损　冷挤压模具与其他绝大多数模具一样，都有一个零件的公差所允许的磨损范围。当模具达到磨损极限不能继续使用时，这种磨损属于正常的模具损坏。然而对于相当一部分模具来说，在尚未达到磨损极限之前，由于许多方面原因，常发生早期损坏。因此，如何避免早期损坏和提高模具的耐磨性，是延长模具使用寿命的两个重要途径。

（2）变形　由于挤压时作用在模具上的载荷非常大，直接承受压力作用的工作零

件，将产生弹性变形和塑性变形，例如，凹模型腔的弹性膨胀，凸模的镦粗、弯曲，顶料杆的轴向压缩，垫块的中心压塌等。模具零件发生变形的主要原因是模具承受的载荷超过该模具材料的屈服强度，或者是因为材质、热处理、模具设计方面的原因。诸如此类的变形，在设计模具时必须予以充分考虑和注意。

（3）破裂　生产中凸、凹模的破裂是冷挤压模具最常见的一种损坏形式，如凸模折断、凹模开裂。引起破裂的原因主要是结构设计不合理，如凸模过于细长；断面变化大；过渡部位的圆角很小或相接不圆滑；压圈过薄或过盈量选择不合理等。此外，还有加工、设备和工艺方面的原因。

4. 早期失效的分析实例

以模具外表和内部检验结果为依据，找出其中影响模具失效的决定性因素，就可以查明模具失效的特征和损坏的原因。当然，模具失效往往是由几个因素综合作用的结果，在进行具体分析时，必须充分考虑各个因素之间的相互影响和联系。

近年来，对冷挤压模具早期失效的原因作了统计分析，现将其结果列于表 9-2。

表 9-2　模具早期失效原因的统计数据

序号	模具失效原因	上海地区的统计数据（%）	日本的统计数据（%）
1	模具材料质量不好	17.8	7
2	模具毛坯锻造工艺不佳	7	—
3	模具结构设计不合理	3.3	10
4	对模具材料性能缺乏认识	—	5
5	模具材料选用不当	—	3
6	模具加工方法不好	8.9	7
7	模具热处理工艺不佳	52	44
8	毛坯材料下料不当	—	3
9	模具使用条件不好	11	7
10	其他原因	—	14

从表 9-2 可以看出，模具早期失效是由于模具原材料质量不好，锻造工艺、热处理工艺、机加工工艺不合理，使用方法不当以及设计不合理等原因造成的。因此，为了防止模具早期失效，延长其使用寿命，应从上述几方面采取有效的预防措施。

9.5　冷挤压模具的损坏与预防措施

9.5.1　凸模损坏与预防措施

凸模是冷挤压模具中最重要的部分。凸模必须能承受很高的抗压载荷，而且又要有足够的韧性，以防因任何一个微小的弯曲而引起侧向压力使凸模突然断裂。同时凸模还

要具有良好的耐磨性，以防发热时可能发生的软化，避免可能产生的刮痕和咬伤，并防止可能出现的永久变形。

冷挤压凸模的损坏主要是由于工作应力过大，偏心载荷和应力集中造成短期疲劳而引起的。损坏的主要形式是变形、断裂和破损。

1. 变形

凸模在挤压过程中，发生图 9-3 所示的镦粗、变形和弯曲等永久变形，称为塑性变形。引起凸模塑性变形的主要原因有以下几方面。

1）挤压力过大，超过凸模材料的屈服强度。

2）凸模的强度和硬度偏低。

3）毛坯材料的硬度过高。

4）毛坯体积偏大，多余材料无法排除。

5）凸模材料选择不当。

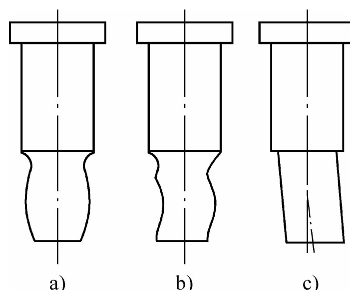


图 9-3　凸模损坏情况
a）镦粗　b）变形　c）弯曲

为了防止凸模弯曲和变形，应采用热硬性好、抗压强度较高的高速工具钢制作凸模，淬火回火后硬度在 61HRC 以上。提高毛坯精度，使毛坯两端面平行，并将毛坯硬度控制在 110HBW 以下。此外，还应提高模具的导向精度和安装精度，以保证挤压时凸、凹模的同轴度。

2. 断裂

断裂是直接影响凸模寿命和危害最大的一种破损形式。凸模的断裂常常从一个极微小的切痕或划痕开始，逐渐扩大形成环状裂纹，严重时出现开裂和突然折断。引起裂纹的主要原因是反复交变应力作用和周期性的温度变化。在冷挤压过程中，短时内产生大量的热量，使模具温度升高，每挤压一次就是一个热冷循环。在这种热冷交替作用下，模具表面的应力正负也交替变化，因而导致热疲劳裂纹的产生。可见，疲劳是导致凸模开裂的主要原因之一。还有，承受偏心载荷时，常常在圆角与直线部分交接位置，即截面或形状变化的部位发生裂纹，甚至断裂。尤其是这些过渡部位处的圆角很小或相接不圆滑时，开裂更为严重。这是因为这些部位是应力集中区，是产生裂纹的发源地。因此，将这部分设计成带有适当的圆角，仔细加工并进行抛光，使其圆滑相接，避免应力集中，是防止裂纹产生的有效办法。

凸模的断裂按其破坏性质和断裂部位的形态，分为横向裂纹、纵向裂纹和径向裂纹三种类型。横向裂纹又有两种情况，图 9-4 所示的一种是折断，折断大多数发生在过渡处，也有时在挤压件的口部作用部位和凸模与固定连接的部位发生折断。折断主要是由于偏心负荷造成的弯曲应力引起的，受应力集中的影响较小。在反挤压杯形件时，若凸模的圆角 R 过分限制反挤压，则该处将发生横向裂纹。若反挤压件的口部偏斜较大，即一面高一面低，在退料时由于侧向力引起的弯曲力矩，常使凸模折断，见图 9-5。另一种拉断多半是在润滑条件变坏的情况下发生在截面变化的部位，拉断的主要特征是其断口平整。改善润滑条件、减小摩擦，是防止凸模被拉断的有效措施。

纵向裂纹的几种常见形式如图 9-6 所示。图 9-6a 所示纵裂是发生在工作环带的圆周

上。这是疲劳性质的裂纹，是由周期性、热冷的交变应力作用引起的，还与毛坯润滑不好，凸模硬度不够有关。为了减少这种微小的纵向裂纹的发生，首先要选用韧性极好的高速钢材料，采用氮碳共渗处理，以增加表面的耐磨性、耐疲劳性。其次，应选用合适粒度的砂轮，严格控制磨削时的进刀量。在磨削后加以抛光。同时改善润滑质量，减小摩擦，提高凸模的表面硬度，使其表面硬度在 61HRC 以上。

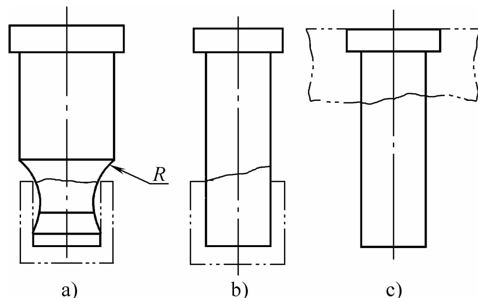


图 9-4　凸模横向断裂
a）过渡部位的裂纹　b）挤压件口边部位的裂纹
c）凸模固定板部位的裂纹

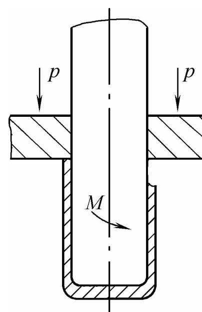


图 9-5　作用在凸模上的弯曲力矩

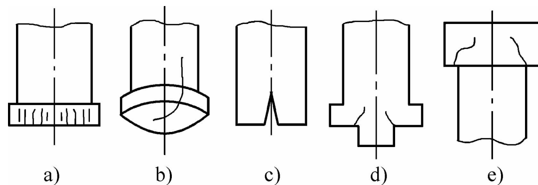


图 9-6　凸模纵向裂纹
a）疲劳裂纹　b）纵向开裂　c）中心劈裂　d）、e）角裂

由工作端面开始沿纵向向上发展的纵向裂纹和中心开裂，如图 9-6b 和图 9-6c 所示，多数是由于材料有缺陷引起的，如碳化物分布不均匀，材料偏析过大等。因为碳化物分布不均匀会增加钢的脆性，降低钢的强度。锻造加工中，一般将材料的偏析控制在 3 级以下，对于小直径棒料，这基本上是可以达到的。对于大直径棒料，必须通过严格的十字法锻造工艺，才能消除过大的碳化物偏析。图 9-6d 和图 9-6e 所示两种角裂，是由于连接部位的圆角过小或相接不圆滑引起的。因此，将连接部位设计成圆角，仔细加工抛光，使其圆滑过渡且无应力集中，是防止角部开裂的有效措施。

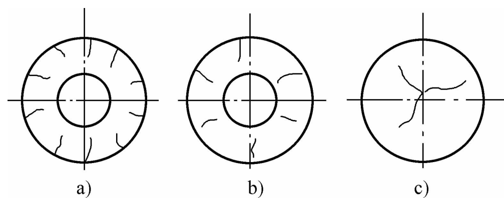


图 9-7　凸模径向裂纹
a）工作圆角处的裂纹　b）工作端面的裂纹
c）尾部端面上的裂纹

在凸模工作端面和尾部端面上沿径向所发生的裂纹如图 9-7 所示。在凸模

工作圆角处所发生的裂纹，是位于表层的轻微裂纹。这种裂纹常常从一个极微小的磨痕、划痕或金属粘连拉伤开始，由极细的条纹逐渐扩展成微裂纹。因此，降低圆角部位的表面粗糙度和提高其硬度，采用优质润滑剂以防金属粘连，便可避免这种裂纹的发生。凸模工作端面上的网状裂纹，是一种由于挤压时的热效应而引起的热疲劳造成的。有时，当磨加工的磨削量过大，进给速度太快时，由于表面过热所引起的龟裂，在挤压时也会发展成为网状裂纹。因此，在磨削成形端面时，应选用粗粒度的砂轮。接近成品时，每次磨削量要小，同时应检查回火处理以及氮碳共渗和镀铬等表面处理情况。在凸模尾部端面上，有时发生如图 9-7c 所示类似网状裂纹的端部开裂。这种表面为网状、向纵向发展的开裂现象，是由于端面不平，材质不均匀，或由于凸模垫块不平，中心压塌变形，而使端面接触不良引起的。因此，凸模的尾部端面应平坦，且与工作端面平行，并采取足够厚度和强度的凸模垫块，以增加其刚性，防止变形。

凸模折断、断裂、裂纹损坏原因及预防措施如表 9-3 所示。

表 9-3　凸模折断、断裂、裂纹损坏原因及预防措施

损坏形式		主要特征	形成原因	预防措施
横向裂纹	折断	1）断口倾斜 2）断口处有明显撕裂条纹 3）断裂发生于过渡部位 4）突然产生	1）坯料端面不平，挤压时产生的侧向力使凸模弯曲而折断 2）坯料与模腔的间隙大，挤压时不均匀的金属流动，使凸模承受不均衡的偏心载荷而折断 3）凸模安装偏心、倾斜，与凹模不同轴 4）凸模过渡处圆角半径过小或相接不圆滑，由于应力集中使凸模折断 5）凸模过渡处存在刀痕、磨痕、划伤和淬火裂纹 6）凸模细长，工作部分的长径比过大 7）模具材料选择不当，热处理硬度偏高，回火不足使脆性增大 8）设备精度差，刚性低	1）增加校形工序，提高坯料精度 2）将坯料与模腔间隙，控制在 0.1mm 以内 3）提高安装精度，采取有效的导向方法 4）适当加大圆角半径，加工后抛光至表面粗糙度 $Ra \leqslant 0.4\mu m$ 5）精加工并抛光，去除加工痕迹和划痕 6）尽量缩短凸模长度，尤其是工作部分有效长度与其直径之比，应控制在 4 以下 7）选择强韧性极好的高速钢制作凸模，采取低温淬火充分回火，增加凸模的韧性 8）采用精度高、刚性好、大吨位专用挤压机
	拉断	1）断口平坦 2）断口似灰铸铁状，且具有光泽 3）断口位于截面过渡部位	1）在圆角和直线的相接部位，存在粗糙的刀痕、尖锐的线状划伤，由于反复作用产生疲劳裂纹，并扩展成环状裂纹，最后拉断 2）凸模承受的压力过大 3）凸模材料的抗压强度不足 4）润滑不良，摩擦力过大，卸料时将凸模拉断	1）仔细加工，去除刀痕、切痕和划伤 2）选择优质材料，提高凸模的抗压强度和承载能力 3）选用优良润滑剂，以降低摩擦

（续）

损坏形式		主要特征	形成原因	预防措施
纵向裂纹	微裂纹	1）在工作环带的圆柱表面上 2）处于表层 3）轻微、细小	1）凸模工作带表面不光洁、粗糙且有划痕 2）凸模表面硬度不够 3）凸模过热，表面发生软化 4）润滑不良，表面摩擦大，金属粘连凸模并拉伤其表面	1）磨加工时，采用合适粒度的砂轮，并控制进给量，以防止加工过热产生的微裂纹 2）精加工并抛光至表面粗糙度 $Ra \leqslant 0.4\mu m$ 3）选用热硬性极好的高速钢制作凸模，保证淬火后硬度在 61HRC 以上 4）选用优良润滑剂
	纵向开裂	1）沿轴方向 2）处于中心部位 3）明显开裂	1）材料严重偏析 2）碳化物分布不均 3）残留奥氏体过多	1）选用组织均匀的优质材料 2）采用锻造加工，将碳化偏析控制在 3 级以下 3）采用冰冷处理，使残留奥氏体稳定
径向裂纹	微裂纹	1）工作端面 2）圆角半径处	1）热疲劳引起模具表面软化 2）磨削留量大，进给速度快，由于表面过热引起的微裂纹 3）热处理时，表面脱碳 4）金属粘连拉伤凸模表面，线状划伤扩展成裂纹	1）采用氮碳共渗处理 2）选用粗粒度砂轮，接近成品尺寸时，磨削进给量相应减小 3）控制热处理温度 4）降低凸模表面粗糙度值，提高硬度，并精细加工，抛光至表面粗糙度 $Ra \leqslant 0.4\mu m$
	中心开裂	1）尾部端面上 2）由中心径向放射状	1）材料组织不均匀，碳化物严重偏析 2）凸模尾部端面不平，受力不均匀 3）凸模垫块薄，且支承面积小 4）凸模垫块压塌变形，使凸模尾端的中心部位悬空	1）采取锻造工艺，将碳化物偏析控制在 3 级以下 2）凸模尾部要平，不允许留顶尖孔 3）增加垫块厚度，加大其支承面积 4）垫块应定期检查，遇有变形时应重磨或更换

3. 破损

在凸模工作部位所发生的卷边和剥离属于局部破损。而碎裂和粉碎性破坏，则属于整体破损，它是突发性和破坏性很大的一种损坏形式。金属粘连和咬合，是最常见的一种粘模现象。粘模容易拉伤凸模的工作表面，影响挤压件的质量。粘模严重时，卸料困难，工作条件恶化，以致挤压过程不能正常进行。以上三种破损的原因及预防措施见表 9-4。

表 9-4　凸模破损原因及预防措施

破损形式	主要特征	形成原因	预防措施
卷边	1）刃边卷曲 2）刃边缺损	1）材料选择不合适 2）热处理工艺不合理 3）刃边过热软化 4）刃边有微裂纹	1）选择偏析小的材料 2）采取多次回火，防止刃边脆性增大 3）磨削加工时，防止刃边过热、过烧
剥离	1）局部崩落掉块 2）鳞片状	1）材料碳化物堆积，呈网状 2）材料组织不均匀，局部有缺欠 3）热处理方法不当，引起脆性过大 4）磨削时局部过热过烧	1）采用碳化物偏析小，组织均匀的优质材料 2）采取多次回火，回火时间一般要在1.5h以上 3）选用粗粒度砂轮，并控制磨削时进给量
碎裂	粉碎性	1）回火不充分，凸模的硬度过高，脆性增大 2）瞬间挤压力超过凸模的抗压强度 3）多余材料的排除受阻 4）工具错位，凸凹模偏离中心 5）操作者失误，一次放进两个坯料	1）采取多次回火，将凸模硬度控制在63HRC以下 2）选择抗压强度高、韧性极好的材料制作凸模 3）尽量避免封闭挤压，确保多余料排除畅通 4）集中精力，精心操作，随时注意工具是否松动或其他异常现象
咬合粘连	1）形成金属镏 2）表面拉伤、凸凹不平 3）表面附有金属颗粒	1）坯料不洁净，有污物 2）模具不光洁，硬度低 3）润滑效果不好	1）坯料表面应洁净，无污物、杂质和氧化皮 2）模腔仔细研磨，抛光至表面粗糙度 $Ra \leq 0.4\mu m$ 3）选用高强度、高硬度钢种或硬质合金作凹模 4）选用优良润滑配方，改善操作工艺

9.5.2　凹模损坏与预防措施

冷挤压凹模不像凸模那样容易损坏。常见的凹模破损形式有开裂、纵向裂纹、横向裂纹和损伤等。

1. 开裂

凹模开裂是一种较为常见的模具早期损坏形式，主要是镶块纵向开裂，如图 9-8 所示。镶块纵向开裂的主要原因是预应力不足，或因镶块本身的壁厚过小，圆度误差过大和强度不足所引起的。预防措施是，适当加大过盈量和凹模镶块的厚度。采用硬质合金镶块时，外径的圆度误差必须控制在

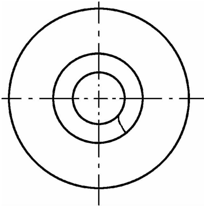


图 9-8　凹模镶块纵向开裂

0.005mm 以内。

2. 纵向裂纹

图 9-9 所示裂纹发生在凹模型腔的内表面，起初它既不像开裂也不像热咬合那样的划伤，随着加工数量的增加，产生无数的纵向划痕，并逐渐发展成网状裂纹，以致最后引起剥离。这种裂纹属于疲劳性质的裂纹，在润滑条件变坏，预应力不足时，尤其容易出现。因此，提高润滑剂质量，适当加大过盈量，对减小纵向裂纹是有作用的。采用氮碳共渗处理，提高模具的表面硬度，或用硬质合金代替一般的工具钢制造凹模，可完全排除图 9-9a 所示的裂纹。

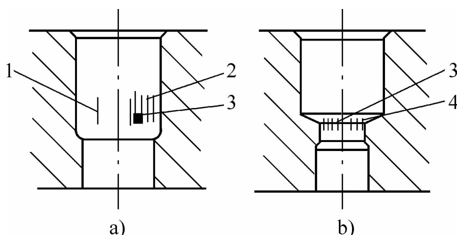


图 9-9　凹模纵向裂纹

a）型腔内表面上的裂纹　b）工作刃带上的裂纹

1—初始划伤　2—网状裂纹　3—剥离

4—纵向裂纹

图 9-9b 所示发生在工作刃带部位的纵向裂纹，也集聚于模腔的内表面，虽然有一定深度，但未穿透，主要集于表层。这种裂纹主要是由于毛坯表面有残存的氧化物引起润滑不良，发生粘模或由于模具表面软化而引起的。因此，应保持毛坯洁净，提高润滑处理效果，采取氮碳共渗处理，以提高模腔的硬度，或采用硬质合金作凹模镶块，这种裂纹便可消除。

3. 横向裂纹

常见的横向裂纹主要有两种，如图 9-10 所示。图 9-10a 所示凹模的横向裂纹发生在截面的过渡部位。如果适当加大过渡部位的圆角半径，或在该处将凹模横向分割成两部分，这种裂纹便可消除。图 9-10b 所示横向裂纹发生在凹模导向部分与成形部分的分界面上，即凹模反复作用的部位。在挤压过程中，凸模对凹模的加载是一个周期性的反复载荷，因而凹模的径向弹性变形也是在周期性的变化。由于这种长时间的反复作用，在界面上便会出现横向裂纹。显然，裂纹的发生与模具的变形过大及强度不足有直接关系，还与压配表面的接触情况有关。因此，加大镶块及整个凹模的内外径之比，适当加大过盈量，保证压配表面接触均匀，或采用多层压套的凹模，可以消除横向裂纹。

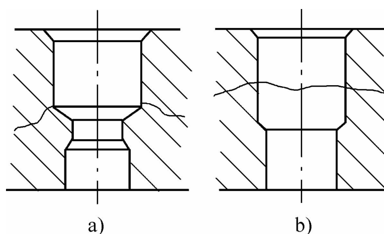


图 9-10　凹模横向裂纹

a）过渡部位上的裂纹　b）导向与成形部分分界面上的裂纹

4. 损伤

图 9-11 所示在凹模型腔和工作面上所发生的塌角 A 和起层剥落 B，是冷挤压凹模常见的一种损伤形式。这种剥离损伤现象多数发生在工作刃带、边棱或孔口的边缘部位。这里是应力集中处，又是比较薄弱的部位，圆角选择不当，

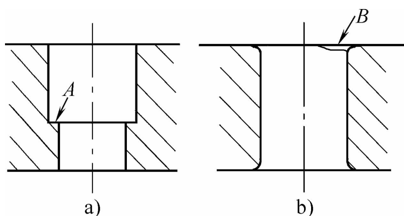


图 9-11　凹模剥离损伤

a）塌角　b）起层剥离

或材料韧性不好，都会产生局部剥离现象。局部有缺陷或局部过热发生软化时，也会发生金属剥离。因此，采用韧性高的材料，选择合适的圆角半径，采用良好的润滑剂，会在一定程度上减少和防止剥离现象。

9.5.3 预应力圈损坏与预防措施

组合凹模中的预应力圈损坏形式主要有纵向开裂和永久变形两种。

1. 纵向开裂

图 9-12a 所示预应力外圈的纵向开裂情况有两种：一种是发生在装配后的数小时所发生的自然开裂；另一种是在承载情况下，挤压几件、几十件，甚至几百件后发生的。这种开裂的主要原因是装配预过盈量过大，使得预应力在外圈内表面处产生的拉应力超过外圈材料的屈服强度，即预应力外圈承受了过大的拉应力作用，或者因为外圈本身的强度不足或硬度过高。在单个预应力外圈预紧的场合，外圈的硬度如果接近 50HRC，则可能产生自然开裂，即在装配后的放置期间，外圈有自行突然开裂的危险，因此，必须将单层外圈的硬度控制在 45HRC 以下。在采用双重预应力外圈的场合，如果外圈的硬度在 40HRC 以下，则中圈硬度可取 50HRC。但在装配时，如果不首先将外圈与中圈装配在一起，也是有危险的。因此，为了防止外圈开裂，应严格控制过盈量和外圈的硬度，装配方法要合理。当在预应力圈上加工固定用的孔时，如图 9-12b 所示，由于这些孔会大大降低外圈的强度和引起应力集中，挤压时常在钻孔处发生开裂现象，所以在预应力圈上尽可能不要制造固定模具用的孔或其他孔。

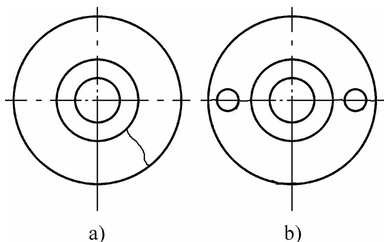


图 9-12　预应力圈纵向开裂

a）外圈开裂　b）在钻孔处开裂

2. 永久变形

由于预应力圈的材料选用不当，或热处理后的硬度及强度偏低，以及装配时过盈量偏大引起径向压力过大而产生永久变形。因此，采用较好的材料，通过合理的热处理工艺，以提高硬度及强度，或优选预应力圈的直径及过盈量，以保证预压力不超出预应力圈材料的屈服强度，这种永久变形便可防止产生。

9.5.4 压力板损坏与预防措施

因种种原因，压力板的损坏形式主要有径向裂纹和永久变形两种。

1. 径向裂纹

沿压力板径向产生的放射性裂纹称为径向裂纹，如图 9-13 所示。

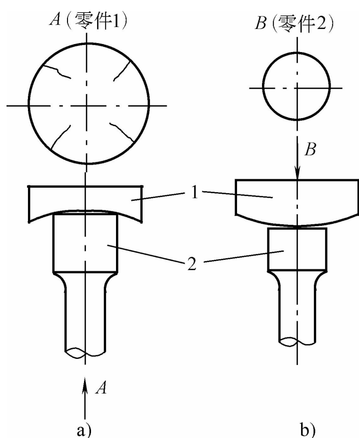


图 9-13　压力板的径向裂纹

a）凹入　b）凸出

1—压力板　2—凸模

产生径向裂纹的原因是：①压力板的材料不好，硬度偏低；②承压面不平（见图 9-13a）或凸模直径过小（见图 9-13b）；③压力板经受多次反复的弹性变形而产生疲劳裂纹。消除这种裂纹的预防措施有：①提高压力板的硬度；②加大压力板的厚度或凸模直径；③在压力板外面加一加强圈，以提高压力板的强度；④加工时，应保证压力板上下平面的平行度，不应有凹凸不平。

2. 永久变形

发生压力板承压面永久变形的原因是：①压力板的强度不够；②单位挤压力过大；③压力板的厚度不够或凸模直径过小。防止这种永久变形的预防措施有：①改用优质的材料制作压力板；②采用合理的热处理工艺，以提高压力板的硬度和强度；③加大压力板的厚度和凸模直径，以提高压力板的抗压能力；④采用多层压力板，以缓和从凸、凹模传来的高压力。

9.6　影响冷挤压模具使用寿命的因素

冷挤压模具的使用寿命受使用情况、所用的材料以及加工工序等方面的影响，现将影响模具使用寿命的诸多因素归纳起来，如图 9-14 所示。

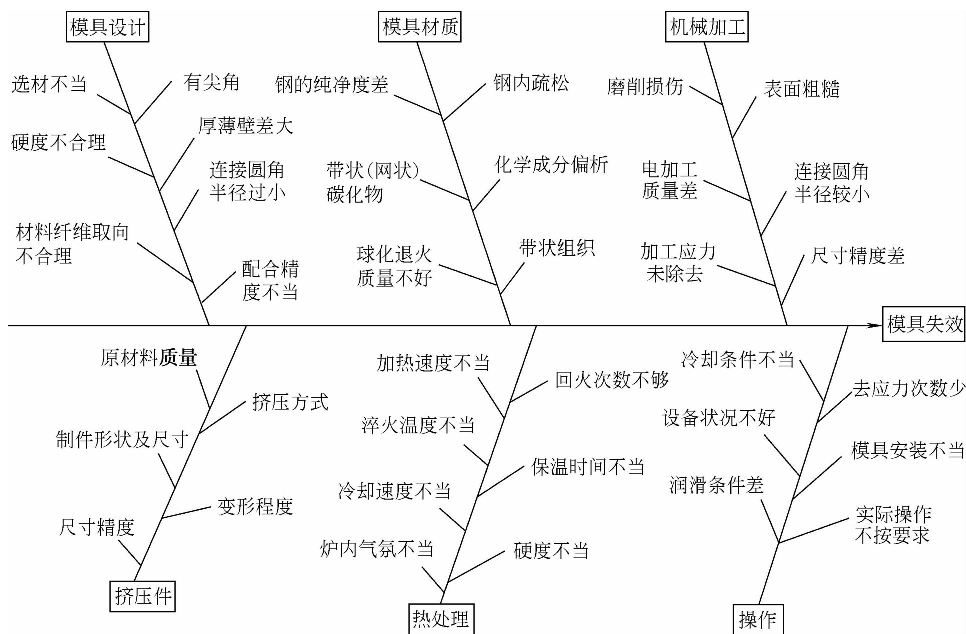


图 9-14　影响模具使用寿命的因果图

9.7　提高冷挤压模具使用寿命的方法

由前面的分析可知，冷挤压模具的工作条件十分恶劣，故其使用寿命较短，特别是

钢铁材料冷挤压的模具寿命更短。为了促进冷挤压技术的发展，深入开展对于冷挤压模具寿命问题的研究是解决冷挤压技术的关键问题。

如何延长冷挤压模具的使用寿命，归纳起来，主要有如下两个方面。

1. 降低单位挤压力

（1）选用合理的变形方式　如某一零件可采用不同的挤压方法成形时，应选用单位挤压力较小的变形方式。例如，采用工艺轴，使单纯正挤压或反挤压成形变为复合挤压成形，是降低单位挤压力，延长模具寿命的有效措施。

在挤压成形时，摩擦阻力的方向总是与金属流动方向相反的，因此，可以采用如图9-15所示的挤压方式，来降低单位挤压力。由图9-15可知，不同的正、反挤压过程中，使挤压筒沿变形金属流动方向作超过金属移动速度的运动，此时摩擦力有利于金属流动，从而大大地降低了单位挤压力。

（2）选用合适的变形程度　在生产实际中，为了提高生产率，减少变形工序，往往采用加大变形程度的方法，这是不合适的。这样做势必加大单位挤压力，招致模具的早期失效。因此，在进行工艺设计时，应严格控制不允许超出许用变形程度。

目前，国外广泛采用多工序、小变形程度的方法来减小模具的单位挤压力，从而有效地延长了模具的使用寿命。

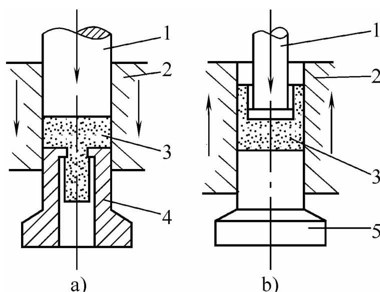


图9-15　利用摩擦力的挤压方式

a）正挤压　b）反挤压

1—凸模　2—挤压筒　3—挤压件

4—凹模　5—顶料杆

（3）采用最佳的模具形状　不论是正挤压模具，还是反挤压模具，必然存在一个使单位挤压力最小的最佳形状。因此，在实际生产中，应用金属流动的数值模拟，寻找最佳的模具形状，以减少单位挤压力，延长模具的使用寿命。

（4）采用合适的毛坯形状　有关资料指出，采用合理的毛坯形状可以降低单位挤压力。为此，冷挤压所用的毛坯不是直接采用下料后的原坯料，而是要经过预制坯工序。预制坯形状的设计原则为：①利于减少挤压工序的变形程度；②利于挤压成形时的金属流动；③利于在挤压成形模腔内定位，以减少凸模所受的偏心力；④预制毛坯的上、下端面应保证较高的平行度，以减少挤压凸模所受的水平分力。

（5）对毛坯进行严格的预备处理　冷挤压前对毛坯进行合理的退火软化处理、表面润滑处理，可以大大地降低单位挤压力，例如钢铁材料冷挤压中，挤压前采用磷化处理与不采用磷化处理，其挤压力将相差一倍左右。

2. 提高模具抵抗破坏的能力

（1）提高模具材料的质量和开发新材料　提高现有模具材料的质量和开发新的模具材料是延长模具使用寿命的根本方法。

1）提高模具材料质量的主要途径是要求冶金厂提高冶金质量。这除了要求保证钢材的化学成分以外，还要求提高模具钢的纯净度和均匀性。对于生产厂来说，应要加强

原材料的检验，及时采取一些有效的工艺措施，来改善模具材料的质量也是十分必要的。

2）近几年来，国内外在开发新的模具材料方面已取得了一定的进展，研制出不少新型的模具材料，如新型高速钢、钢结硬质合金、基体钢、陶瓷材料等，为提高模具强度、延长模具使用寿命创造了先决的有利条件。但应注意是，必须充分了解这些新型材料的性能，根据具体工作条件正确选用，不可滥用，否则会造成严重浪费，使用效果也不一定好。

（2）正确选用模具材料　根据冷挤压模具的工作条件来正确地选用合适的模具材料，是延长模具使用寿命及降低成本的关键措施。为此，在选用模具材料时应注意如下两个问题。

1）选择模具材料必须以模具的工作条件为依据。冷挤压模具的实际工作条件往往是不同的，失效形式也不完全相同，如果模具以磨损失效为主，就不必选用高强度的模具材料，宜选用高耐磨性的模具材料；如果模具受偏心力较大，主要以折断（如凸模）形式失效，就应选用高强韧性的模具材料。实践证明，所选的模具材料在某一方面的性能满足不了使用要求，就有可能缩短模具的使用寿命，招致早期失效。

2）选择模具材料还必须充分考虑经济效益。众所皆知，模具材料的价格一般都比较昂贵，特别是一些高级的模具材料价格更贵。因此，在选择模具材料时，必须做到在满足使用要求的前提下，尽量选用价格低廉的模具材料，绝对不能随意滥用高级模具材料。

（3）设计合理的模具结构　合理的模具结构是提高模具的承载能力、延长模具寿命的重要措施。归纳起来，应注意如下几点。

1）保证模具有足够的强度、刚度、可靠性和良好的导向性能。

2）尽量避免形成较大应力集中的模具结构。例如，过渡部分应设计足够大的圆角半径；易开裂的型腔部位应采用分割式结构等。

3）根据凹模材料所采用的种类，来选用不同的优化设计方法。例如，采用硬质合金或钢结硬质合金作凹模，应以凹模内壁不出现拉应力作为目标函数进行优化设计；而当采用工具钢作凹模时，就应以凹模和预应力圈材料同时屈服作为目标函数进行优化设计。这样，就可以充分发挥模具材料应有的潜力。

4）采用行之有效的新型模具结构。例如，采用钢带缠绕式或钢丝缠绕式凹模，既可保证模具具有较高的强度，又可减轻模具的尺寸和重量；采用阶梯式组合凹模，比同尺寸的平口组合凹模具有更大的承受径向内压力的能力。

（4）采用合理的锻造工艺　模具钢中碳化物的分布与形态对力学性能有着决定性的影响；而锻造变形是打碎钢中呈块形、带状分布的碳化物，使其呈细小质点的均匀分布，消除材料各向异性，提高内部质量的主要方法。

钢厂供应的模具材料虽已进行了一定程度的压力加工，但远不能满足使用要求，必须进行改锻。改锻模具钢时，应注意如下一些问题。

1）充分认识模具材料改锻的目的主要是为了提高力学性能，其次才是改变形状。

2）应特别注意锻造模具材料与锻造一般材料的不同点，严格遵守模具材料的锻造工艺规范。

3）为了充分打碎碳化物，使其呈弥散状均匀分布，锻造方法应采用高的锻造比变向镦拔法。

（5）采用合理的热处理工艺　从国内外对于模具早期失效的统计资料来看，热处理工艺不合理招致模具早期失效所占的比重最大。实践证明，模具的热处理工艺是改善模具材料力学性能的重要手段之一。为了保证模具具有高强度、硬度、耐磨性及热硬性，除了采用淬火、回火等热处理方法以外，再添加表面强化热处理工艺，可使模具工作表面的硬度、耐磨性、抗疲劳能力显著提高。目前，对于冷挤压模具钢所采用的表面强化热处理工艺有如下几种。

1）碳氮共渗。钢的表面同时渗入碳和氮，称为碳氮共渗。它属于一种多元共渗化学热处理。

碳氮共渗与渗碳相比主要有如下一些优点。

①渗层表面具有比渗碳更高的硬度和耐磨性，且有一定的热硬性和耐蚀性。

②氮溶入奥氏体内增加了过冷奥氏体的稳定性，从而提高了渗层的淬透性。

③氮的渗入可以降低奥氏体形成的温度，可以防止晶粒粗化。

④碳氮共渗的变形比渗碳小。

由于碳氮共渗具有上述一系列优点，所以目前在模具的表面强化热处理工艺中有着取代渗碳的趋势。

碳氮共渗工艺按所用的材料状态可分为固体、液体及气体碳氮共渗三种。采用氰盐的碳氮共渗由于有剧毒，近年来已不再应用。而气体碳氮共渗的优点是无毒、劳动条件好，且操作简便，易于控制。因此，气体碳氮共渗目前应用较多。

2）气体氮碳共渗　这是指在低于 Fe-C-N 三元系共析温度下进行的以渗氮为主的一种气体碳氮共渗。经气体氮碳共渗后的模具表面具有更高的强度、耐磨性以及疲劳强度。目前，在冷挤压模具中已开始采用这种表面强化热处理工艺，并取得了较好的效果。例如，某厂冷挤压 15 钢仪表座所采用的凸模，当用 CG-2 基体钢未经气体氮碳共渗处理时，其凸模寿命为 14500 件，而经氮碳共渗处理后的平均寿命可达 27500 件，最高已达 45600 件。

气体氮碳共渗的工艺规范是：加热温度为 530～570℃，保温时间一般为 1～16h。

此外，离子氮化、镀硬铬、TiC 气相沉积、盐浴渗钒、渗硼，以及稀土表面工程和纳米表面工程等技术，在冷挤压模具钢的表面强化热处理中，也正在得到应用，它们均可不同程度地提高模具表面强度，延长模具的使用寿命。

（6）保证机械加工质量和采用新型的加工方法

1）严格保证加工质量。较高的机械加工质量可以延长模具的使用寿命。因此，必须采取有效的工艺措施，来保证达到所规定的技术要求。实践证明，为了达到较高的加工质量，在冷挤压模具的机械加工过程中，应力求做到如下几点。

①凸模经最后机加工后，各过渡部分应当平滑流畅，工作部分应与夹紧部分同轴，

形状也应严格保证对称。否则，不仅会使挤压件壁厚不均，凸模本身也会因单边受力而弯折。

②为了保证凸模的高强度，避免因应力集中而开裂，凸模两端不允许残留中心孔。为此，在加工凸模时，顶端面必须预留打中心孔所需的“凸块”。

③凸模表面粗糙度一般应根据挤压件的原材料种类提出适当要求。对于钢材反挤压凸模工作部分的表面粗糙度 $Ra<0.2\mu m$；而纯铝等有色金属反挤压凸模表面粗糙度取 $Ra=0.8\mu m$ 即可。但对于工作带部分，不论是挤压钢铁材料，还是有色金属材料，都应有 $Ra<0.2\mu m$ 的表面粗糙度。

④正挤压或反挤压凹模型腔的表面粗糙度越低越好，一般应为 $Ra<0.2\mu m$。采用磨削后再研磨抛光的凹模型腔更可降低单位挤压力，明显延长模具的使用寿命。

⑤模具工作部分的研磨或抛光都应在最后热处理以后进行，研磨以前所留的加工余量不大于 0.1mm，表面粗糙度 $Ra<1.6\mu m$。为了去除研磨后的残余应力，最好在完成研磨以后再加一次去应力回火处理。

2）采用新型的加工方法。加工冷挤压模具除采用一般的机械加工方法以外，还有电火花加工、电解加工和模具型腔冷挤压法，以及超精加工和高速铣削等新型加工方法。此处仅简介一下模具型腔冷挤压法。

模具型腔冷挤压的实质是根据金属的塑性成形原理，用冷挤压工艺直接加工出凹模型腔。它通常是先用工具钢按照模具型腔的形状加工出高硬度的凸模，然后在型腔挤压机（或大吨位的液压机）的作用下使凸模压入坯料，从而制出形状、周界、尺寸大小与凸模工作部分正确配合凹凸相反的凹模型腔。

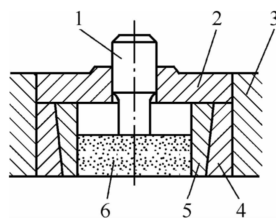


图 9-16　在模架内的型腔挤压
1—凸模　2—导向板　3—外圈
4—内圈　5—锥形拼块　6—坯料

模具型腔冷挤压有多种方法，其中最常用的是在模架内的型腔挤压，如图 9-16 所示。工作过程是：经退火软化处理的坯料预先放入模架中，凸模在液压机的作用下压入坯料，这时坯料金属只能向上流动，保证坯料与凸模的紧密贴合，因此，可使模具型腔精度达到 IT6 ~ IT7，几何形状正确，表面粗糙度 $Ra=0.1\sim0.2\mu m$。

模具型腔冷挤压凸模是关系到成形成败的关键零件，对于该凸模的加工制造必须严加注意，一般应注意如下问题。

①为了减少应力集中，凸模的过渡部分不允许有急剧的变化，至少应做成不小于 0.2mm 的圆角半径。

②为了保证凸模具有很高的强度和硬度，一般应选择超高强度钢作凸模的原材料，并应进行严格的锻造变形和热处理工艺。

③凸模工作部分在热处理后还应再次进行研磨，表面粗糙度 $Ra\leqslant0.1\mu m$。

④为了保证凸模的导向精度，凸模导向部分的长度一般不应小于凹模型腔最大径向尺寸的 1.2 倍。

必须指出，用冷挤压法制造模具型腔的生产率比切削加工要高得多，更重要的是凹模型腔改用冷挤压成形后，模具的内部组织更为致密，强度和耐磨性都较高，从而使模具的使用寿命较长。但是，由于被挤压成形模具材料本身的强度较高，塑性较差，因此，这种加工方法仅用于形状简单、型腔不深的凹模加工。

（7）合理使用和维护模具　熟悉冷挤压成形的特点，合理使用和精心维护模具也是延长模具使用寿命的重要措施。

当冬天温度很低时，模具在使用前最好要进行预热，以防开裂。冷挤压生产过程中，由于热效应的影响，模具的温升很快，因此，应定时对模具进行冷却。

对于受力大的模具在挤压数千次以后，应进行 160 ~ 180℃保温 2h 去应力退火处理。对于反复使用的外层及中层预应力圈，在经多次压出后，需经 180℃保温 2h 去应力退火处理；否则，中、外层预应力圈会突然崩裂，不仅损坏了模具，而且还会引起人身事故。

为了延长模具的使用寿命，必须建立一整套完整的维护保养制度，要指定专人及时对压力机进行修整，以及进行模具修复、调整和储存工作。模具在储存和运输过程中，应采取防锈措施，上下模座之间要有限位块保护，以防受到损坏。

第 10 章　冷挤压件质量分析

在冷挤压生产中，能够获得最优质量和最佳性能的挤压件产品，是冷挤压技术优越性的重要标志。进一步提高挤压件的质量和性能，努力消除各种缺陷，不断降低成本，是冷挤压生产中的根本任务和研究的重要课题之一。

关于冷挤压件的精度和表面粗糙度问题，已在第 3 章详细阐述，此处不再赘述。

10.1　质量问题分析及防止措施

在冷挤压生产过程中，影响冷挤压件质量问题和造成废品的原因很多。冷挤压件的质量问题分析及防止措施见表 10-1。

表 10-1　冷挤压件质量问题分析及防止措施

序号	质量问题	原因分析	防止措施
1	正挤压件外表环形裂纹或鱼鳞状裂纹 裂纹	在工件与凹模之间摩擦力的作用下，金属外表层的流动速度比中心层快。当中心层金属对外表金属产生的附加拉应力足够大时，便使工件出现环形或鱼鳞状裂纹	1）选用良好的毛坯退火规范，以提高金属的塑性 2）改用润滑性能良好的表面处理与润滑 3）减小凹模锥角 α 4）采用两层工作带的正挤压凹模 α 5）采用带反向推力的挤压 6）适当增加正挤压变形程度 7）改用塑性良好的金属材料

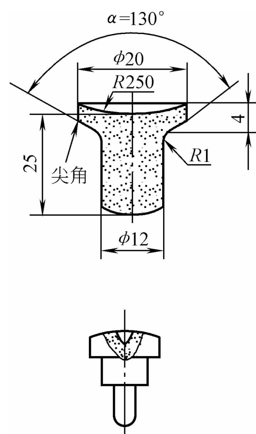
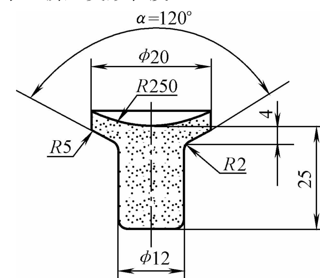
（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
2	正挤压空心件内孔裂纹 裂纹	同序号 1	1）选用良好的毛坯退火规范，以提高金属的塑性 2）改用性能良好的表面处理与润滑（在正挤压 30 钢时，在磷化后只用工业豆油润滑会出现内孔裂纹，如果在磷化后用皂化润滑，可以使裂纹消除） 3）缩小毛坯孔径，使毛坯内孔小于凸模心轴直径 0. 01mm 4）改用塑性良好的金属材料
3	挤压件外表刮伤 刮痕	1）模具硬度不够 2）毛坯表面处理及润滑不理想	1）增加模具工作部分硬度 2）模具工作部分镀硬铬或渗氮、渗硼等 3）改用性能良好的表面处理与润滑

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
4	挤压件内部裂纹	挤压材料塑性低，在一定断面缩减率时，由于内部轴向拉应力的作用引起	减小凹模锥角，或在挤出方向施加背压
5	正挤压空心件侧壁断裂	凸模芯轴露出凸模太长，在正挤压前先产生变薄拉深而导致侧壁拉断	减小芯轴长度，使芯轴露出长度与毛坯孔的深浅相适应（最多比毛坯孔深 0.5mm）

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
6	正挤压杯形件侧壁皱曲	凸模芯轴露出的长度不够	增加芯轴长度，使芯轴露出长度与毛坯的深浅相适应
7	正挤压件的头部缩孔  	当头部高度较小时，由于摩擦的作用，常使与凹模接触表面附近的金属不易流向中心，而靠凸模中心附近的金属补充到中心部位，导致头部中心缩孔	1）采用良好的表面处理与润滑 2）减小凹模工作带尺寸 3）减小凹模锥角 α 4）增大凹模入口处圆角 5）降低凹模表面粗糙度值，适当提高凸模端面表面粗糙度值 6）减小正挤压变形程度  上图为5A06防锈铝正挤压件，工件原来形状如左图，经减小锥角 α 及加大凹模入口圆角后，缩孔消除

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
8	正挤压件端部毛刺	1）凸、凹模之间间隙太大 2）毛坯退火硬度太高，金属流动阻力太大，使金属反向向上流入凸、凹模间隙，形成毛刺	1）减小凸、凹模间隙 2）提高毛坯退火质量 3）必要时采用预成形毛坯，如下图所示，毛坯放入凹模中时应将倒角朝上 上 下
9	正挤压件的弯曲	1）模具工作部分形状不对称 h_1 h_2 h_1 h_2 2）润滑不均匀	1）修改模具工作部分 2）润滑均匀 3）在正挤压凹模下面加导向套（导向套孔直径比工件大0.02mm）。装导向套的细长挤压件直线度误差在100mm长度内可保证不大于0.03～0.04mm

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
10	正挤压深孔底部不平，呈半球形 毛坯　废品	正挤压时，底部金属参与变形而成半球状	采用预成形毛坯（见下图），可获得平底挤压件 d_1　预成形毛坯 d_1　平底挤压件
11	挤压件壁厚差太大 3　$\phi25^{+0.05}_{+0.01}$　$\phi41$　$\phi41$　毛坯 $\phi41$　25°　$0.5^{\ 0}_{-0.05}$　$\phi25^{+0.05}_{\ 0}$　挤压件 上图 Al-Mn 合金正挤压件，要求壁厚公差0.05mm，但有时壁厚差达到0.20mm	1）由于毛坯退火不均匀，而形成严重的壁厚差 2）凸、凹模不同轴 3）模具无准确导向 4）反挤压件毛坯直径偏小，放在凹模腔内太松，引起零件偏心 5）反挤压凸模顶角太尖（α 太小），亦易引起挤压件偏心 α 6）润滑剂过多，不均匀	1）优化退火工艺规范。如左图 Al-Mn 合金正挤压件，将退火工艺改为两次高温（570℃）长时间（一次7h，另一次5h保温）退火，在其他条件不变的情况下，挤出的零件壁厚精度完全达到要求 2）修整凸、凹模的同轴度 3）保证模具的导向装置有良好的导向精度 4）适当增大反挤压件毛坯直径，放在凹模腔内不宜太松 5）增大反挤压凸模顶角 α 6）润滑剂涂刷适量，均匀

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
12	反挤压件内孔环状裂纹	冷挤压低塑性材料时，润滑不合理，产生附加拉应力所致，常出现于2A11和2A12硬铝合金挤压中	1）采取良好的毛坯表面处理与润滑 2）降低反挤压凸模表面粗糙度值 3）采用合适的软化热处理规范，提高材料塑性
13	反挤压件表面环状裂纹	由于内外层金属流动速度不均匀，引起附加拉应力造成	1）增大毛坯外径，甚至使毛坯直径大于型腔孔径0.01～0.02mm 2）采用良好的毛坯表面处理与润滑 3）降低凹模型腔表面粗糙度值 4）采用合适的软化处理规范，提高材料塑性

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
14	反挤压薄壁件壁部缺口	1）凸、凹模之间间隙不均 2）上、下模垂直度与平行度误差过大 3）润滑剂涂刷过多 4）凸模长细比不当，稳定性不好	1）调整凸、凹模之间间隙 2）调整上、下模的垂直度和平行度 3）减少润滑剂用量 4）凸模工作端加工出工艺槽
15	反挤压件单面起皱	1）凸、凹模之间间隙不均，引起流动不均，在金属流动快的一面易于起皱 2）润滑不均匀	1）调整凸、凹模之间的间隙 2）保证润滑均匀

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
16	矩形件长边上口开裂	长边金属流得太快，短边金属流得太慢，形成两面受拉	1）长边比短边少润滑 2）凸模各边工作圆角半径，取成长边的小于短边的 3）凸模各边工作带，取成长边的大于短边的 4）凸模工作端面锥角，取成长边的大于短边的 5）凸凹模间隙，取成长边的小于短边的
17	反挤压薄壁硬铝件（2A12）壁部开裂	2A12 塑性较差，反挤压时金属质点流动速度稍有差异便引起破裂	改用塑性较好的变形铝合金，经时效处理后力学性能与硬铝 2A12 相同

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
18	挤压件放置一段时间后发现开裂	筒壁内存在残余应力	对于黄铜、硬铝（2A11、2A12）、奥氏体不锈钢（如 12Cr18Ni9）以及钛合金挤压件，在挤压完毕后，采用去应力退火工艺
19	反挤压件侧壁底部变薄（$t_2 < t_1$）	底部过薄，挤压到最后没有足够的金属补充到侧壁	增加零件底部厚度

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
20	中部缩入现象	1）中间夹层高度 C 太薄 2）凸模无锥度	1）增加夹层高度 C 2）凸模改用有锥度的
21	反挤压件上端壁厚大于下端（最多可达 0.40mm）	凹模型腔退模锥角太大	减小凹模型腔退模锥度，甚至不用退模锥度

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
22	连皮位置不在中央（$l_2 \neq l_1$）	由于金属的惯性，在立式压力机上挤压时，金属总是向上流动比向下流动容易，因而工件孔腔高度总是上孔长，下孔短（$l_1 > l_2$）	1）采用不同的上、下凸模锥角，使 $\alpha_1 > \alpha_2$ 2）上凸模做出肩部，当金属向上流足 l_1 的尺寸后，即受到凸模肩的限制，使 $l_1 = l_2$ 3）采用卧式挤压机
23	冷挤压件部分尺寸未压足，举例如下 1）中心柱高度不足 (1) 2）下端杯形部分高度不足 (2)	金属变形时，容易向阻力小的方向流动	1）改变毛坯尺寸。对于左图（1），可采用成形毛坯挤压；对于左图（2），可用较高的毛坯（长径比大）进行挤压 制动筋 0.5 成形毛坯 2）对于左图（2），可在法兰部分加制动筋 3）对于左图（2）的情况，应保证毛坯进行良好的退火处理 4）在金属流动不足的部位，使模具工作部分增加锥角或增大圆角

（续）

序号	质量问题	原因分析	防止措施
24	挤压件底部出现台阶 正常产品　废品	由于凹模拼块在挤压受力时发生弹性压缩	将拼块高度酌量增高 Δh（如0.4mm），抵偿弹性压缩变形数值 Δh
25	反挤压件口部严重开裂	1）凸模与凹模之间的间隙分布不均匀会产生不规则流动撕裂 2）反挤压凸模工作带不匀 3）反挤压凸模圆角或锥度不对称 4）上模与下模的垂直度、平行度不好 5）毛坯材料组织不均匀，退火不均 6）润滑油过多引起“散流” 7）凸模稳定性不好 8）工件四周壁厚过分不均匀	1）间隙的分布应当均匀 2）在正常情况下，使凸模工作带是等高度的 3）反挤压凸模圆角及锥度应对称 4）调整上模与下模的垂直度与平行度 5）毛坯材料力学性能应均匀，采用合理的退火工艺 6）减少润滑剂的用量 7）在凸模工作端面加工艺槽 8）工件壁厚不宜相差过大
26	反挤压件高度不易控制	1）毛坯退火不均匀 2）润滑不匀 3）毛坯尺寸超差（毛坯高度或直径不符合要求）	1）提高毛坯退火质量 2）毛坯润滑适量，均匀 3）毛坯尺寸应在规定范围内
27	反挤压件卡在凹模内	1）凹模有反锥现象 2）凸模的形状不能与凹模的形状相适应 3）挤压工件底部厚度太厚	1）修整凹模型腔的形状 2）修整凸模形状，使与凹模形状相适应 3）增加凸模的工作带，将工件从凹模内带出

10.2　冷挤压件的力学性能

冷挤压加工不但能改变毛坯的形状和尺寸，而且使材料内部的晶粒形状和结构也发生了显著变化。同时，由于塑性变形的结果，材料的力学、物理性能发生变化，即强度指标上升，塑性指标下降，产生明显的加工硬化现象。

由于冷挤压对材料有强烈的加工硬化作用，因而可以大大提高挤压件的力学性能，使得以普通钢代替一些优质钢材成为可能，这一点在前面已详细介绍。但是必须强调，当利用冷挤压的强化效应来满足对挤压件的力学性能要求时，由于不均匀变形的影响，冷挤压件的组织和性能是很不均匀的。

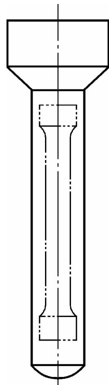


图 10-1　试样在正挤压杆形件上的位置

冷挤压过程中的性能强化，常用拉伸和硬度试验来测定。正挤压杆形件的拉伸试样切取如图 10-1 所示。但是，这种试样的拉伸试验只能测出中线附近的性能。要测定高应变表层的硬化效应，就必须用具有挤压杆全截面的试样进行试验。试验时，首先将细杆的端面镦粗，然后将两端粗大部分直接夹在试验机上。为了测得反挤压杯形件的纵向抗拉强度，可以从杯壁上切取试样，如图 10-2 所示；用于研究横向力学性能的试样，从复合挤压件截面的中心切取试样，如图 10-3 所示。测定挤压件各部位的硬度时，将挤压件剖开，从中心附近切取一个厚度约为 5mm 的试样。试样经磨加工、抛光之后，便可用于测定截面硬度。

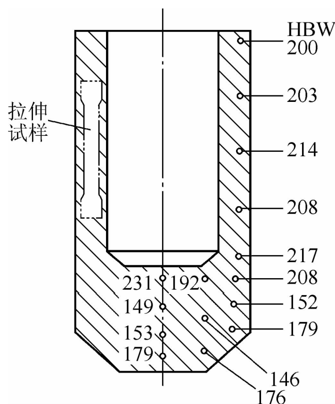


图 10-2　杯形件剖切面上的硬度分布

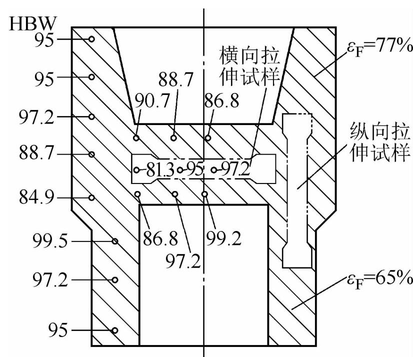


图 10-3　复合挤压件上的试件切取与断面硬度分布

正挤压杆形件的前端和后端的强度较低，而塑性较高。表层附近的应变硬化程度比中心处要大，表层附近的强度和硬度偏高，伸长率略有降低，但断面收缩率则没有降低（见图 10-4）。强度和硬度的分布由中心向表层将逐渐增加，是由于表面摩擦和变形的不均匀性引起的。反挤压杯形件开口端部位的应变很小，这里比较软，塑性也好。从开

口端到底部，从外壁到内壁，应变迅速增大，强度和硬度也都在增大。由图 10-2 可以看到，口部硬度值比中部和底部低，中部硬度较高，底部硬度略比中部高，但比较接近，底部各试验点的硬度差异较大，这就说明了杯形件各部位变形的不均匀性。复合挤压件上的性能变化与正挤压和反挤压的情况基本相似。从剖切面上的硬度分布（见图 10-3）来看，各部位的硬度差异也较大；从测得的强度数据来看，横向强度比纵向强度约低 6%。

挤压过程中的强化，主要受挤压件材料和变形程度的影响。一般来说，材料原始组织的细化程度越高，挤压后强度也越高。材料的原始状态（化学成分、力学性能）不同，挤压后的强化程度也不同。实践证明，20 钢正挤压变形程度为 86%，挤压后杆的全截面抗拉强度达到 850～950MPa，提高一倍以上，超过了 35 钢，达到 50 钢的性能指标。35 钢挤压后的纵向抗拉强度 1200MPa，此值接近优质合金结构钢的强度。在相同的变形条件下，利用同一模具挤压铝合金时，硬铝 2A12 经变形程度 86% 的正挤压后，抗拉强度由退火毛坯的 250MPa 增到 400MPa，提高了 150MPa。2A14 锻铝合金挤压后杆部抗拉强度达到 300～350MPa，原始退火毛坯的抗拉强度为 210MPa，也提高了 150MPa 左右。与低碳钢比较，铝合金加工硬化程度低得多，强化效果较差。

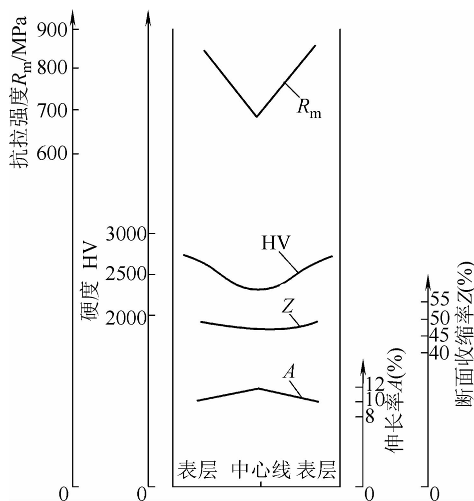


图 10-4　在横截面不同部位上的力学性能比较

注：材料为 15 钢，变形程度为 75%，圆锥角为 120°。

表 10-2 列出了各种材料的正挤压杆形件力学性能试验结果。硬铝杆形件上的硬度分布见表 10-3。从表 10-3 可见，正挤压杆形件各部位的硬度也是不相同的；并且，由于合金成分含量的不同，三种硬铝挤压后的强化数值也有很大差别。对于低碳钢来说，随碳含量的增加强度增大，见表 10-4。

表 10-2　正挤压杆形件的力学性能（变形程度 $\varepsilon_F=86\%$）

材料	毛坯（退火）		挤压件			
	抗拉强度 R_m/MPa	硬度 HBW	抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 A（%）	断面收缩率 Z（%）	硬度 HBW
20 钢	375	117	845～945	10～13.5	42.5～46.5	201～255
2A12	250	60～63	400	6～9	20～30	—
2A14	210	68～71	300～350	5.5～7.5	21～25.5	—

表 10-3　杆形件上的硬度分布（变形程度 $\varepsilon_F=93\%$）

材料	1	2	3	4	5	6	图　示
	硬度　HBW						
2A04	68.2	78	68.2	77	78	78	
2A11	90.7	99.5	90.7	101	104	102	
2A12	91.7	103	90.7	101	103	101	

表 10-4　挤压强化效果比较（变形程度 $\varepsilon_F=44\%$）

挤压材料	杯壁纵向抗拉强度 R_m/MPa	挤压材料	杯壁纵向抗拉强度 R_m/MPa
10 钢	725	25 钢	790
20 钢	750	35 钢	885

挤压试验的结果表明，对于任意材料，无论采用何种成形方式，挤压后材料都有不同程度的加工硬化，并且随着变形程度的增大，强度和硬度提高，而伸长率和断面收缩率则下降。冷挤压低碳钢的力学性能变化如图 10-5 所示。

此外，冷挤压的强化效果还与工艺方案和模具结构有关。

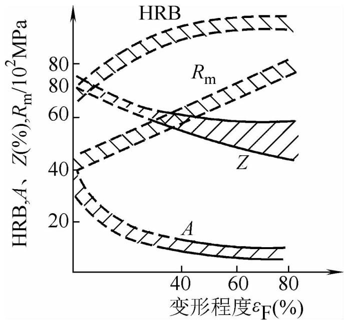


图 10-5　冷挤压低碳钢的力学性能变化

第 11 章　冷挤压零件工艺实例

实例 1　夹头

零件材料：1060 纯铝

工艺流程：

1）复合模冲孔落料（见图 11-1a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-1b）。

实例 2　细孔管

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）冲裁落料，钻 ϕ1. 3mm 孔（见图 11-2a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-2b）。

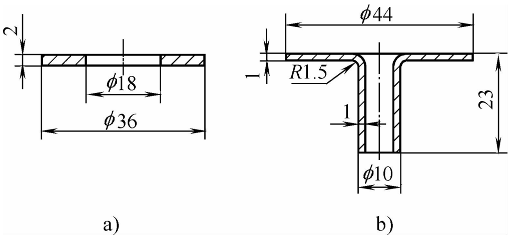


图 11-1　夹头

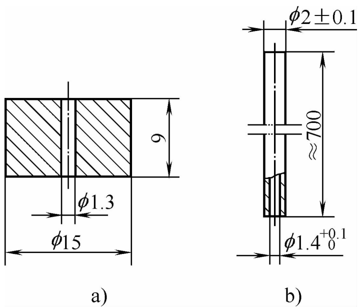


图 11-2　细孔管

实例 3　可变微调电容器

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-3a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-3b）。

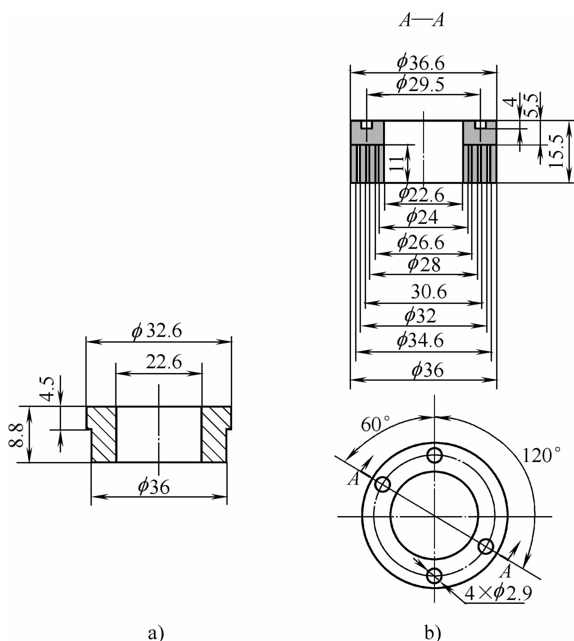


图　11-3

实例 4　支架

零件材料：1060 纯铝

工艺流程：

1）复合模落料冲孔（见图 11-4a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-4b）。

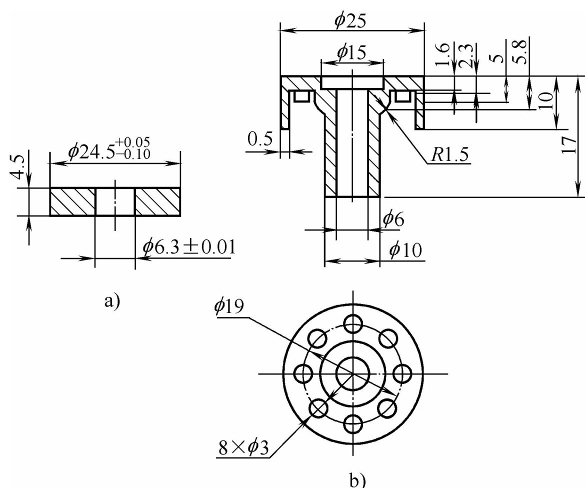


图 11-4　支架

实例 5　锥形套

零件材料：3A21 防锈铝

工艺流程：

1）复合模落料冲孔（见图 11-5a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-5b）。

实例 6　凸缘盖

零件材料：1035 纯铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-6a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-6b）。

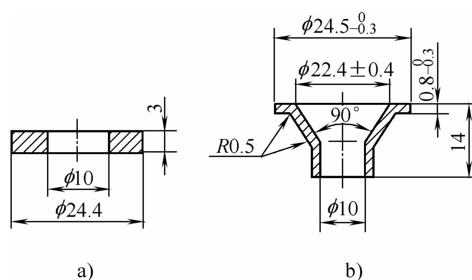


图 11-5　锥形套

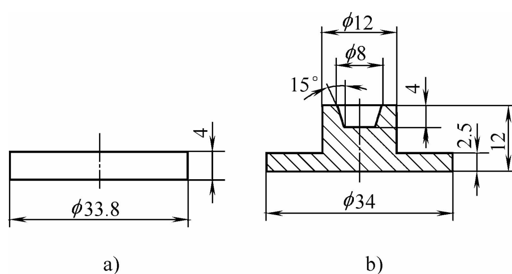


图 11-6　凸缘盖

实例 7　矩形罩壳

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-7a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-7b）。

实例 8　薄壁外壳

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-8a）。

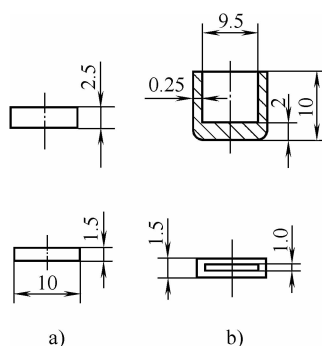


图 11-7　矩形罩壳

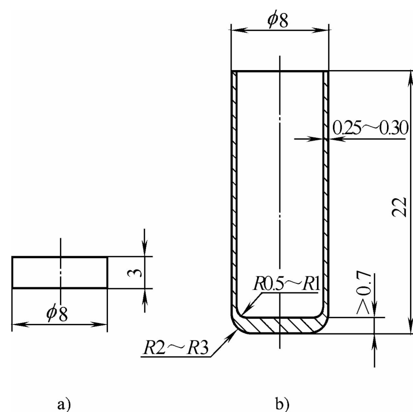


图 11-8　薄壁外壳

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-8b）。

实例 9　薄壁外罩

零件材料：1070A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-9a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、润滑。

5）冷挤压成形（见图 11-9b）。

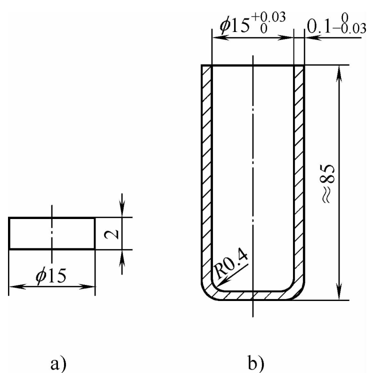


图 11-9　薄壁外罩

实例 10　方形罩

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-10a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-10b）。

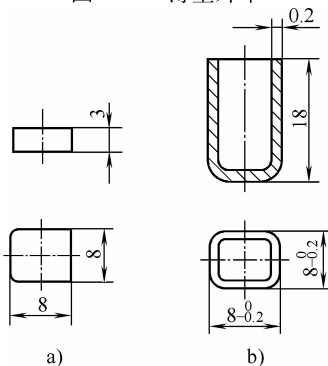


图 11-10　方形罩

实例 11　圆形外壳

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-11a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-11b）。

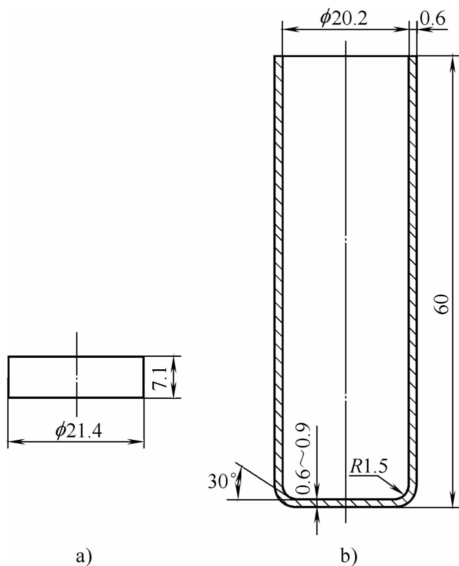


图 11-11　圆形外壳

实例 12　高压电器盒

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）复合模落料冲孔（见图 11-12a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-12b）。

实例 13　正方罩

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-13a）。

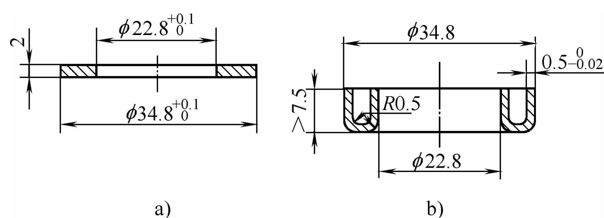


图 11-12　高压电器盒

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-13b）。

实例 14　极薄屏蔽罩

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-14a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-14b）。

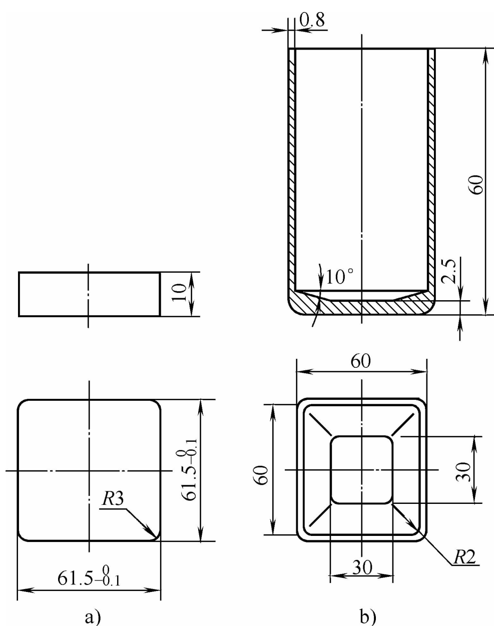


图 11-13　正方罩

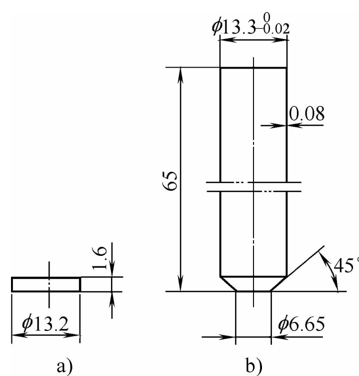


图 11-14　极薄屏蔽罩

实例 15　管套

零件材料：1035 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-15a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-15b）。

实例 16　接触件套

零件材料：1035 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-16a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-16b）。

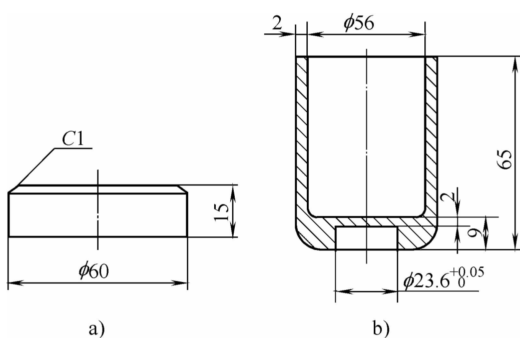


图 11-15　管套

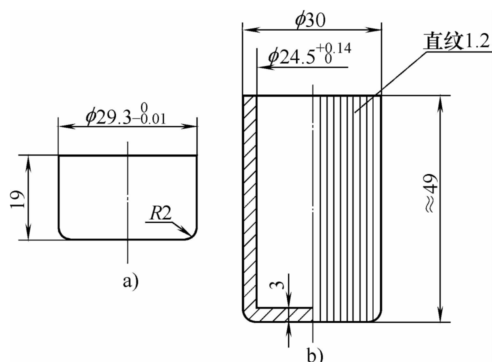


图 11-16　接触件套

实例 17　打火机外壳

零件材料：1060 纯铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-17a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-17b）。

实例 18　异型屏蔽罩

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-18a）。

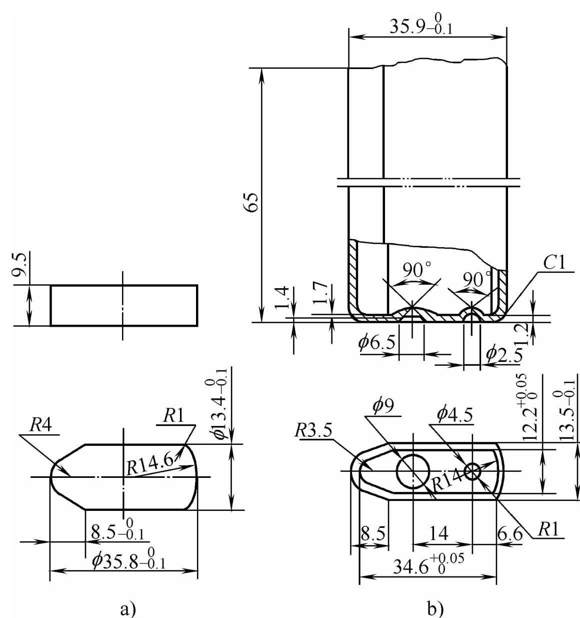


图 11-17　打火机外壳

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-18b）。

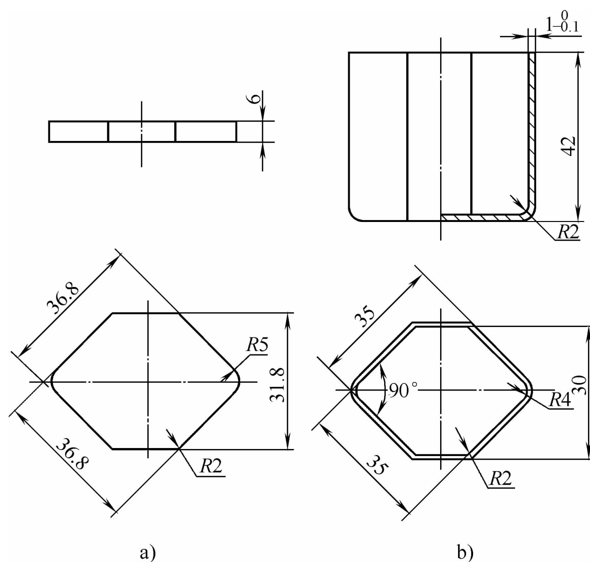


图 11-18　异型屏蔽罩

实例 19　矩形屏蔽罩

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-19a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形(见图 11-19b)。

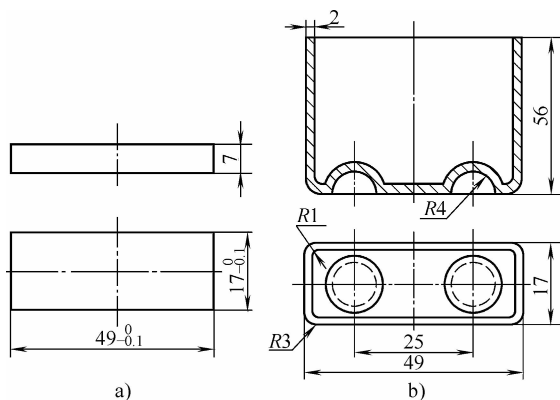


图 11-19　矩形屏蔽罩

实例 20　方形多隔层屏蔽罩

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）复合模冲孔落料（见图 11-20a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-20b）。

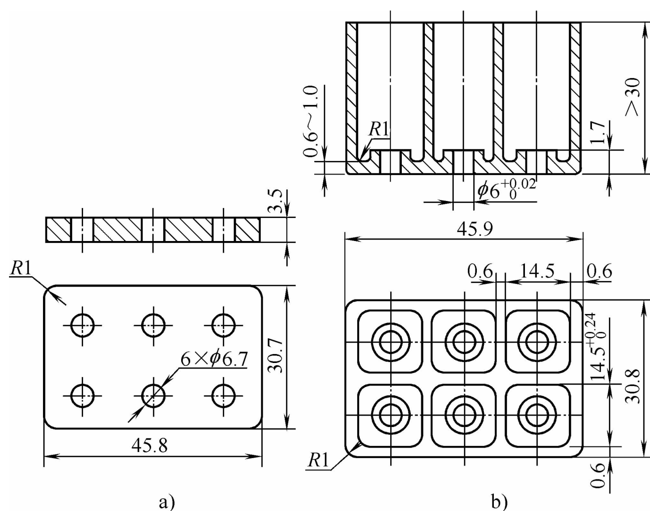


图 11-20　方形多隔层屏蔽罩

实例 21　矩形多隔层屏蔽罩

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-21a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-21b）。

实例 22　插座

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-22a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-22b）。

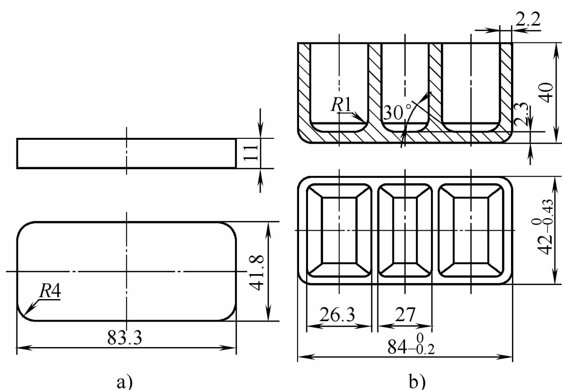


图 11-21　矩形多隔层屏蔽罩

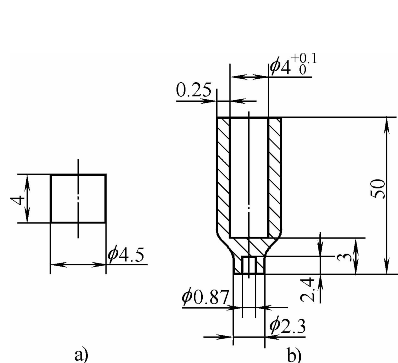


图 11-22　插座

实例 23　双层套

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-23a）。

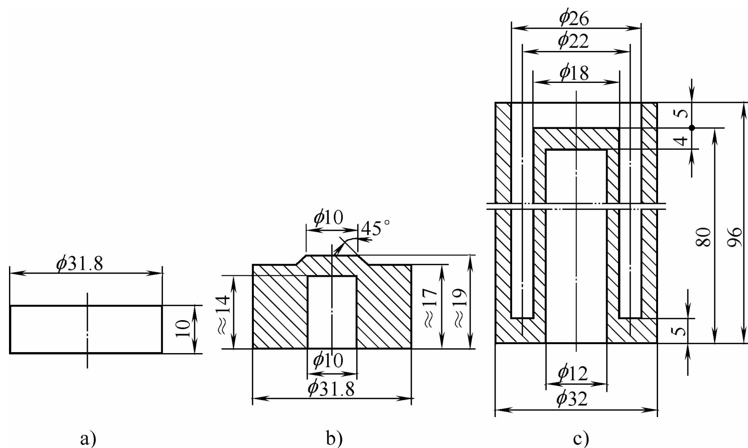


图 11-23　双层套

2）润滑。

3）第一次冷挤压（见图 11-23b）。

4）退火。

5）酸洗、润滑。

6）第二次冷挤压成形（见图 11-23c）。

实例 24　柱体

零件材料：1100 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-24a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-24b）。

实例 25　方形开关

零件材料：1035 纯铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-25a）。

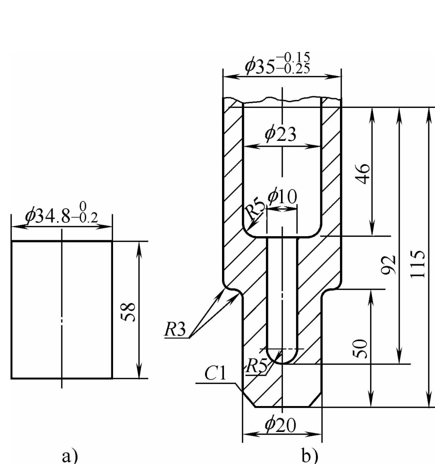


图 11-24　柱体

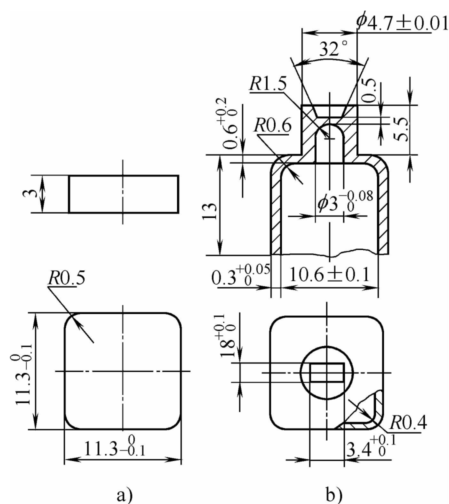


图 11-25　方形开关

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-25b）。

实例 26　话筒接头

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-26a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-26b）。

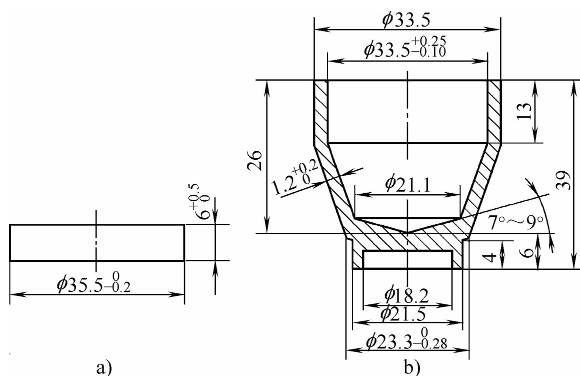


图 11-26　话筒接头

实例 27　转子杯

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-27a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-27b）。

实例 28　指示杯

零件材料：1035 纯铝

工艺流程：

1）光洁冲裁落料（见图 11-28a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-28b）。

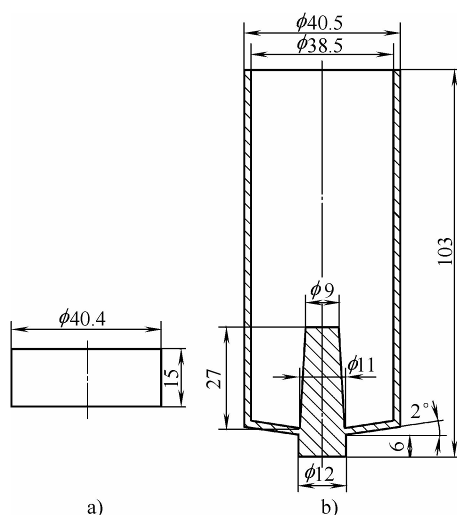


图 11-27　转子杯

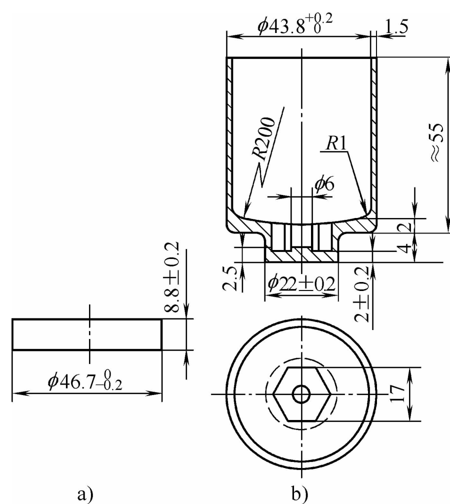


图 11-28　指示杯

实例 29　十六角圆筒

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-29a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-29b）。

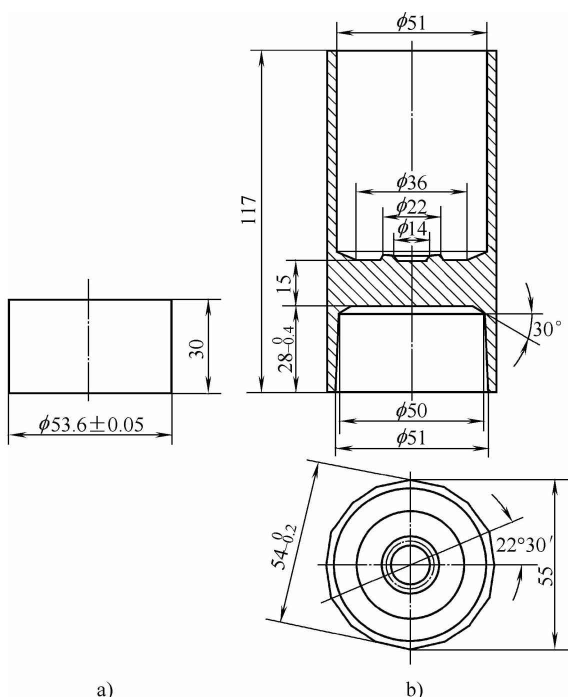


图 11-29　十六角圆筒

实例 30　轴套

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-30a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-30b）。

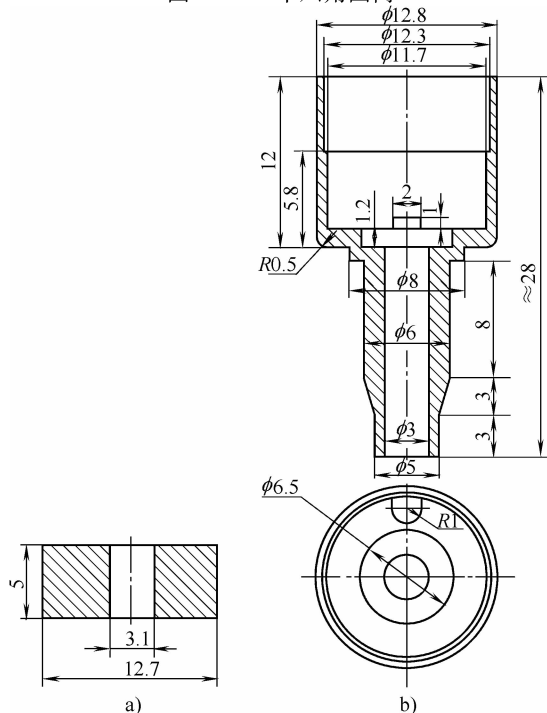


图 11-30　轴套

实例 31　圆轴壳体

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-31a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）第一次冷挤压（见图 11-31b）。

5）退火。

6）酸洗、润滑。

7）第二次冷挤压成形（见图 11-31c）。

工艺特点：零件 ϕ8mm 心轴长度不易在一次冷挤压工艺中成形，故采用二次冷挤压成形。

实例 32　转子支架

零件材料：2A12 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-32a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

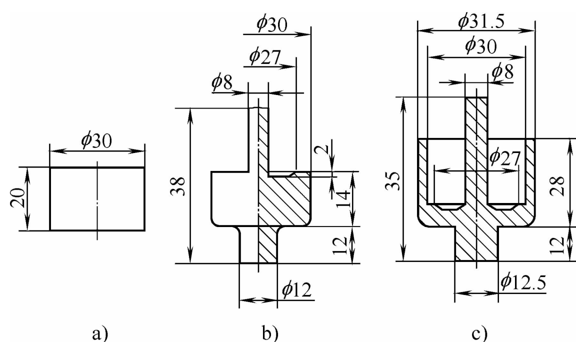


图 11-31　圆轴壳体

4）第一次反挤压（见图 11-32b）。

5）退火。

6）酸洗、润滑。

7）第二次反挤压（见图 11-32c）。

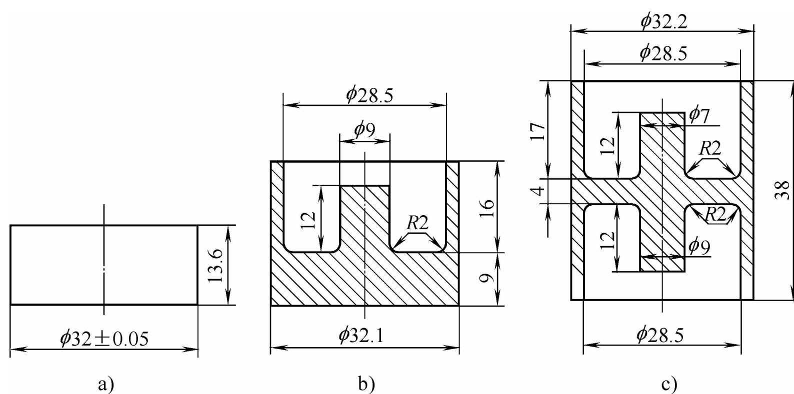


图 11-32　转子支架

实例 33　凸缘长管

零件材料：5A02 防锈铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-33a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）复合挤压（见图 11-33b）。

5）退火。

6）酸洗、润滑。

7）正挤压成形，连皮用芯棒冲穿（见图 11-33c）。

8）用 $S\phi14$mm 钢球放在 $R3$mm 处，凸缘拉出（见图 11-33d）。

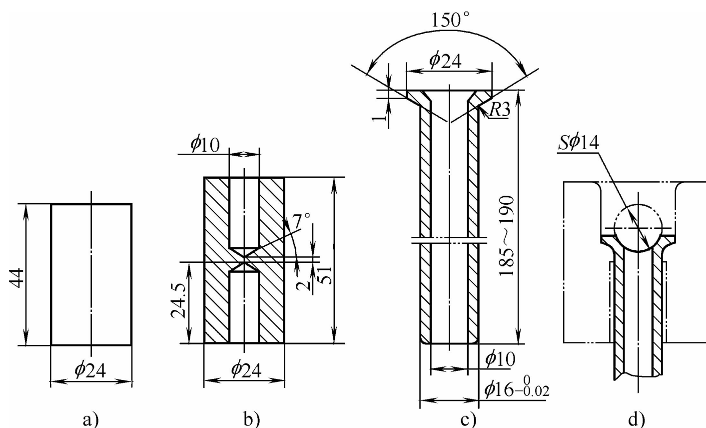


图 11-33　凸缘长管

实例 34　方头柱塞

零件材料：2A12 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-34a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤镦成形（见图 11-34b）。

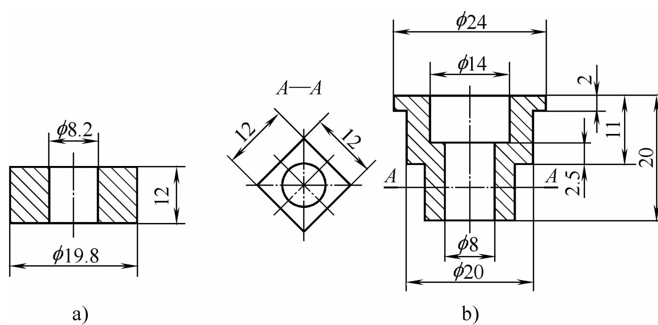


图 11-34　方头柱塞

实例 35　包角件

零件材料：1050A 纯铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-35a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-35b）。

工艺特点：零件为不对称件，将二件合在一起组成对称挤压，然后冲除连皮。

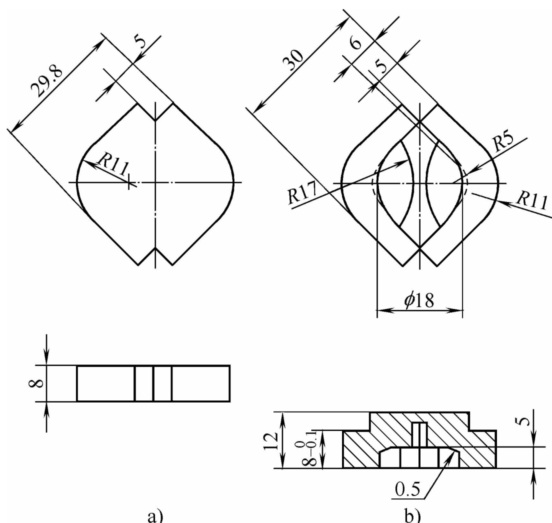


图 11-35　包角件

实例 36　照相机后镜筒

零件材料：3A21 防锈铝

工艺流程：

1）复合模冲孔落料（见图 11-36a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）正挤压成形（见图 11-36b）。

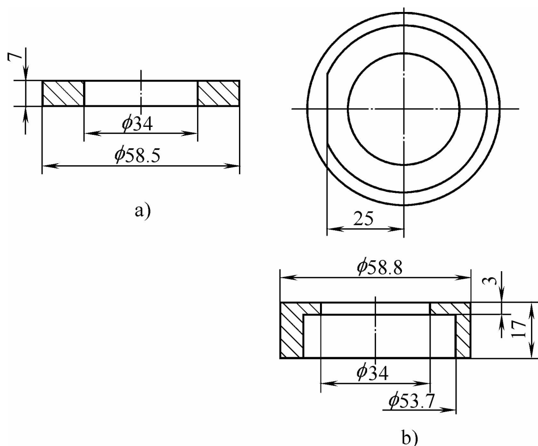


图 11-36　照相机后镜筒

实例 37　阶梯锥形套

零件材料：3A21 防锈铝

工艺流程：

1）复合模冲孔落料（见图 11-37a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-37b）。

实例 38　回旋针

零件材料：2A11 硬铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-38a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-38b）。

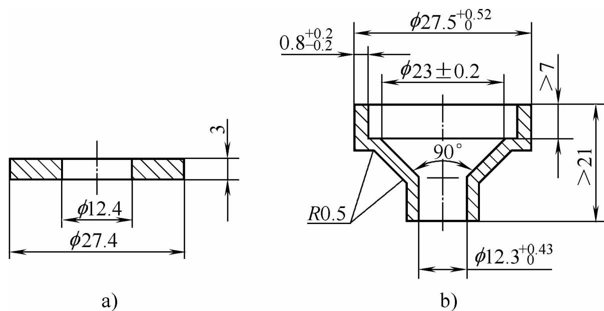


图 11-37　阶梯锥形套

实例 39　加压器

零件材料：3A21 防锈铝

工艺流程：

1）复合模冲孔落料（见图 11-39a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-39b）。

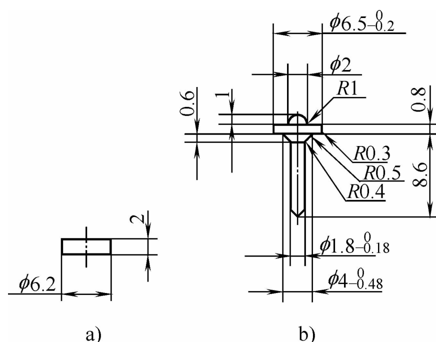


图 11-38　回旋针

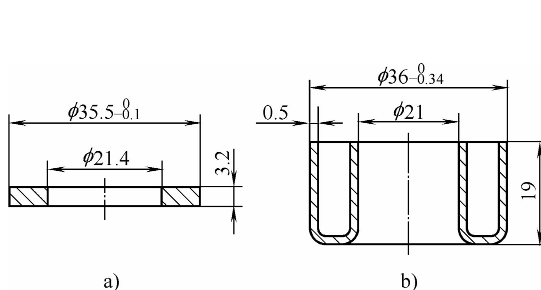


图 11-39　加压器

实例 40　顶杆

零件材料：2A11 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-40a）。

2）预成形（见图 11-40b）。

3）退火。

4）酸洗、润滑。

5）正挤压成形（见图 11-40c）。

工艺特点：预成形后形成 *SR*5mm 球面，其目的是防止正挤压时产生缩孔。

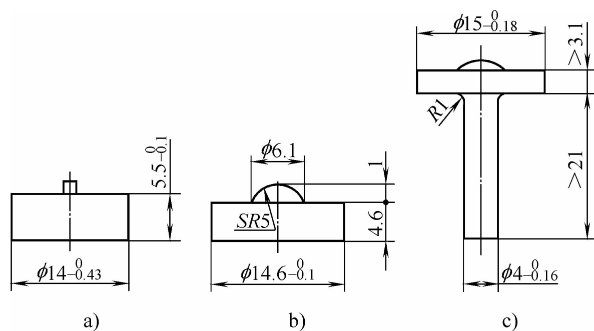


图 11-40　顶杆

实例 41　照明灯座套

零件材料：2A12 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-41a）。

2）退火。

3）氧化、皂化。

4）冷挤压成形（见图 11-41b）。

5）去应力退火。

实例 42　快门内芯

零件材料：2A12 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-42a）。

2）退火。

3）氧化、皂化。

4）冷挤压成形（见图 11-42b）。

工艺特点：采用正挤压与镦粗复合工艺，要加活动定位装置。

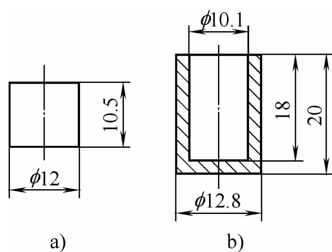


图 11-41　照明灯座套

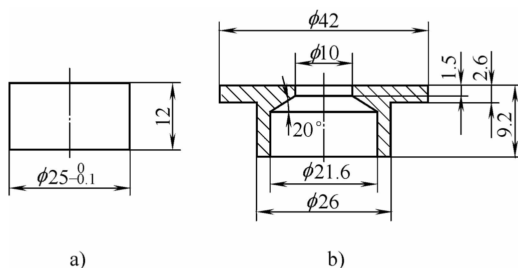


图 11-42　快门内芯

实例 43　阶梯外壳

零件材料：2A12 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-43a）。

2）退火。

3）氧化、皂化。

4）冷挤压成形（见图 11-43b）。

实例 44　罩杯

零件材料：2A12 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-44a）。

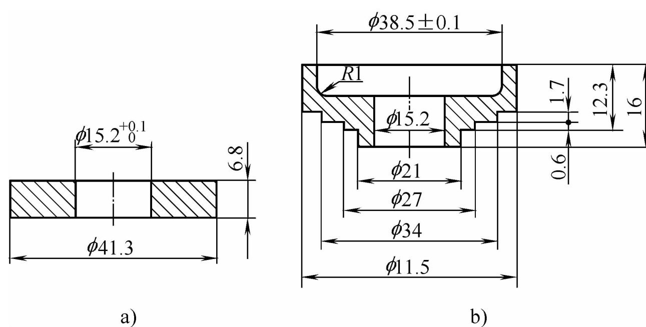


图 11-43　阶梯外壳

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）正、反复合挤压（见图 11-44b）。

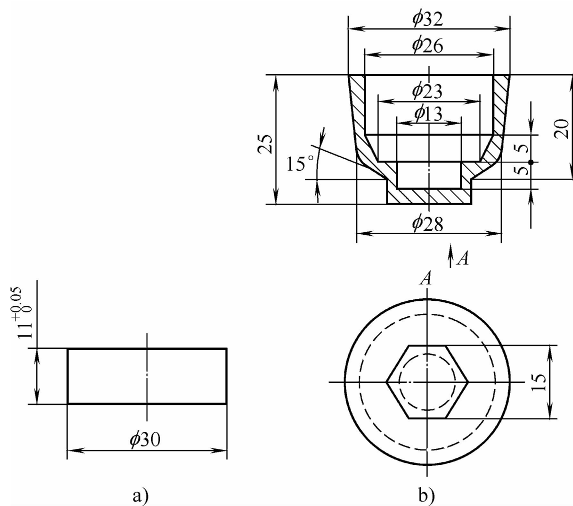


图 11-44　罩杯

实例 45　带法兰灯座

零件材料：2A12 硬铝

工艺流程：

1）冲裁落料（见图 11-45a）。

2）润滑。

3）反挤压（见图 11-45b）。

4）退火。

5）酸洗、润滑。

6）正挤压（见图 11-45c）。

7）镦挤成形（见图 11-45d）。

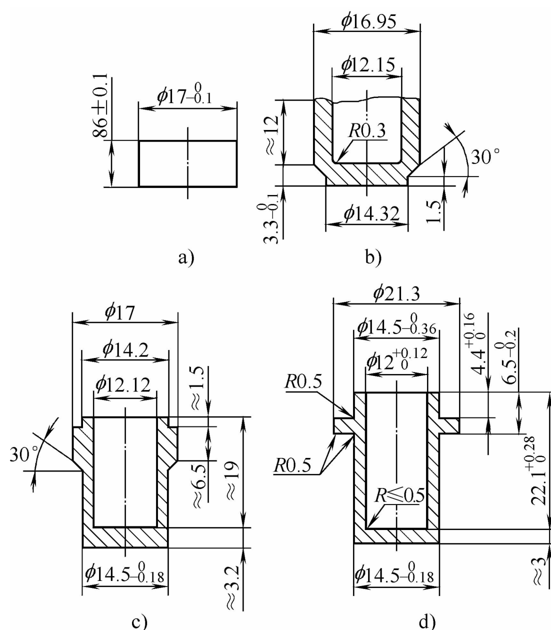


图 11-45　带法兰灯座

实例 46　拉杆接头

零件材料：2A11 硬铝

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-46a）。

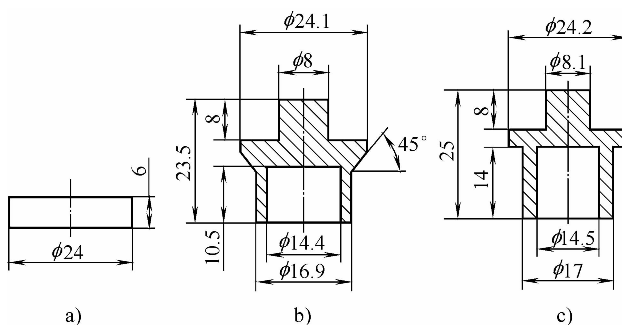


图 11-46　拉杆接头

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）正、反复合挤压（见图 11-46b）。

5）镦扁（见图 11-46c）。

实例 47　排气管

零件材料：TU1 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-47a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-47b）。

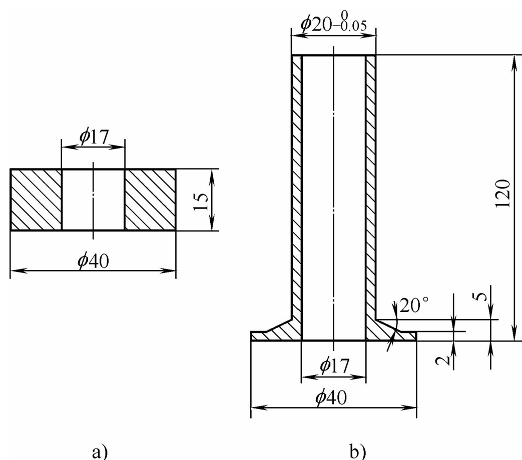


图 11-47　排气管

实例 48　底座

零件材料：TU2 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-48a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-48b）。

实例 49　套管

零件材料：T1 纯铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-49a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-49b）。

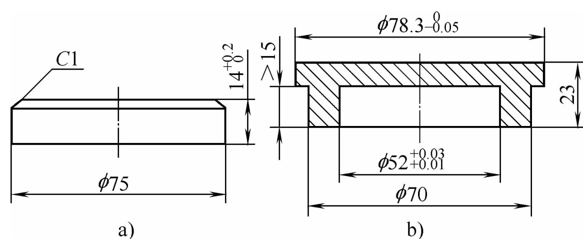


图 11-48　底座

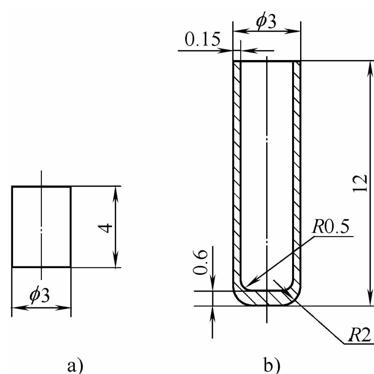


图 11-49　套管

实例 50　管座

零件材料：TU2 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-50a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-50b）。

实例 51　连接外管

零件材料：T2 纯铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-51a）。

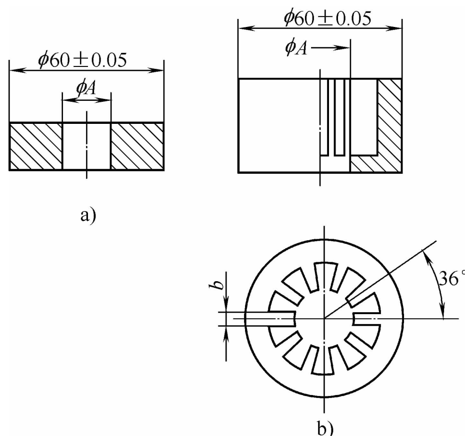


图 11-50　管座

注：尺寸 ϕA、b 根据要求决定。

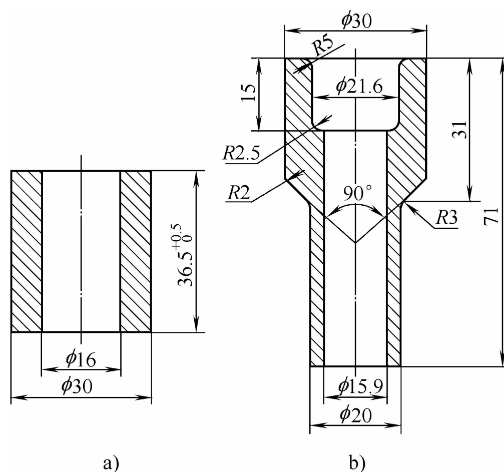


图 11-51　连接外管

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）正、反复合挤压（见图 11-51b）。

实例 52　阳极芯

零件材料：TU2 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-52a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）正、反复合挤压（见图 11-52b）。

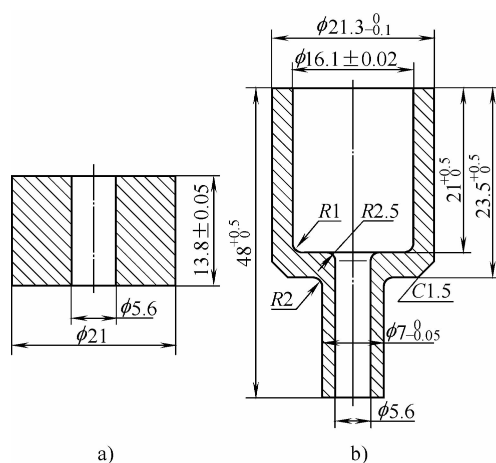


图 11-52　阳极芯

实例 53　圆形支座

零件材料：TU1 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-53a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-53b）。

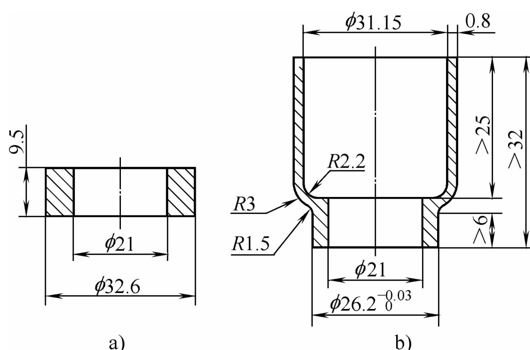


图 11-53　圆形支座

实例 54　固定盘

零件材料：TU1 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-54a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-54b）。

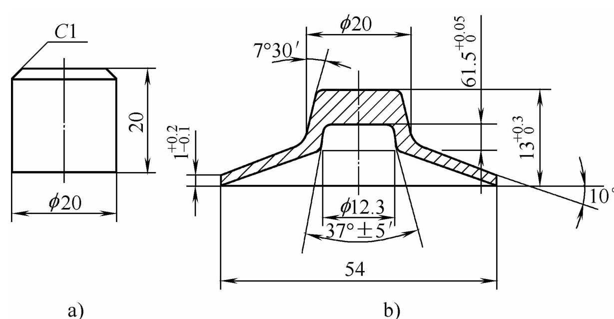


图 11-54　固定盘

实例 55　法兰座

零件材料：TU2 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-55a）。

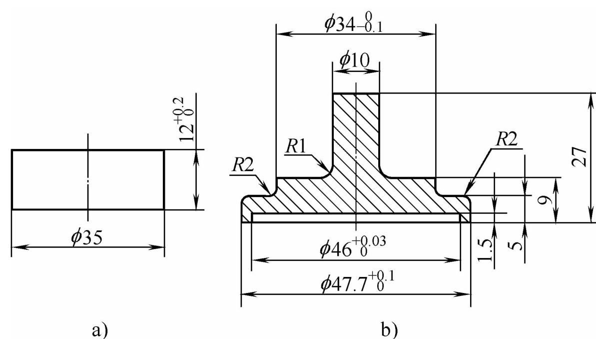


图 11-55　法兰座

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-55b）。

实例 56　凸缘座

零件材料：TU2 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-56a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-56b）。

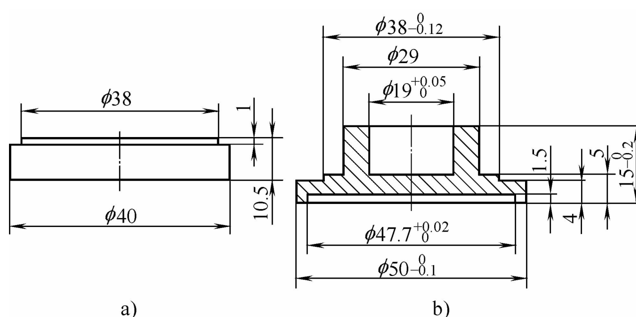


图 11-56　凸缘座

实例 57　电焊嘴

零件材料：T1 纯铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-57a）。

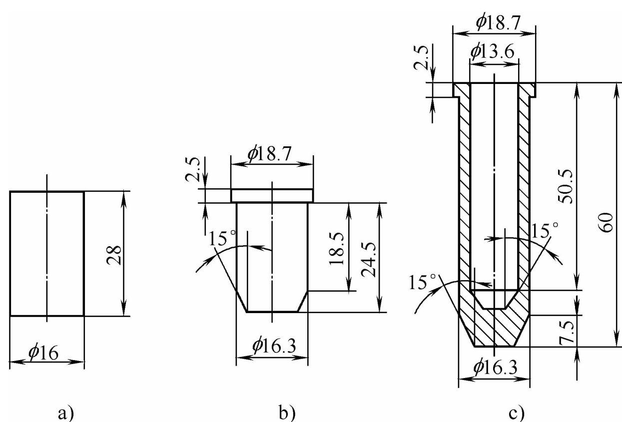


图 11-57　电焊嘴

2）润滑。

3）镦头预成形（见图 11-57b）。

4）润滑。

5）反挤压成形（见图 11-57c）。

实例 58　开关导电管

零件材料：T1 纯铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-58a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑（蓖麻油）。

4）第一次冷挤压（见图 11-58b）。

5）退火。

6）酸洗、润滑。

7）第二次冷挤压成形（见图 11-58c）。

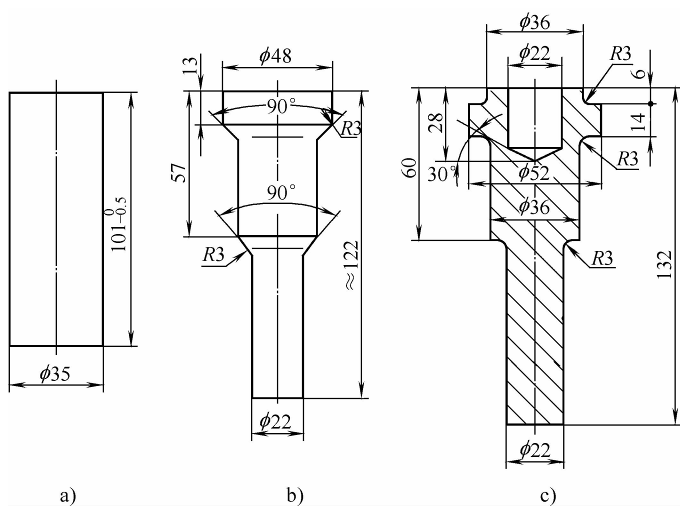


图 11-58　开关导电管

实例 59　接线螺杆

零件材料：T2 纯铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-59a）。

2）润滑。

3）第一次冷挤压（见图 11-59b）。

4）润滑。

5）第二次冷挤压成形（见图 11-59c）。

实例 60　凸缘

零件材料：H62 黄铜

工艺流程：

1）复合模冲孔落料（见图 11-60a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-60b）。

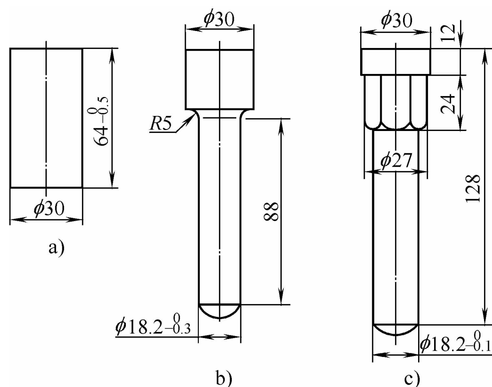


图 11-59　接线螺杆

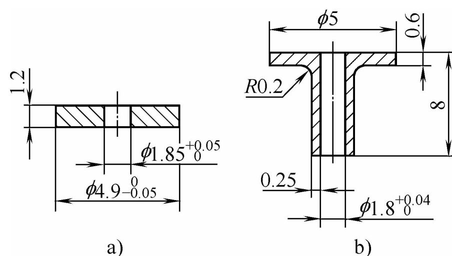


图 11-60　凸缘

实例 61　环套

零件材料：H62 黄铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-61a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-61b）。

5）去应力退火。

实例 62　盖体

零件材料：H68 黄铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-62a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-62b）。

5）去应力退火。

实例 63　控制盒

零件材料：H68 黄铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-63a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-63b）。

5）去应力退火。

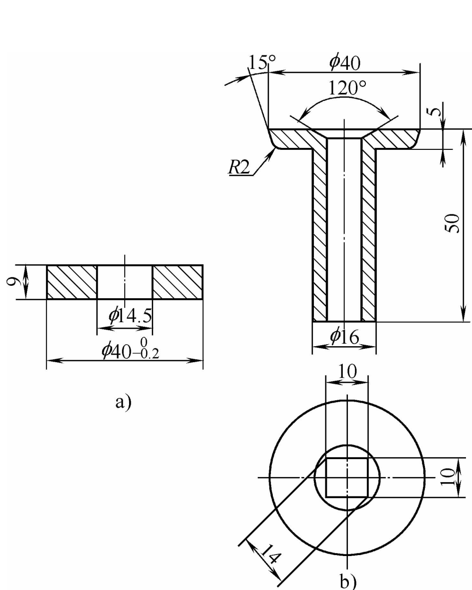


图 11-61　环套

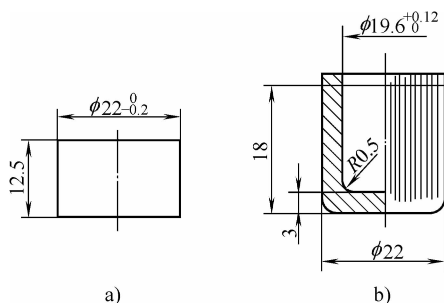


图 11-62　盖体

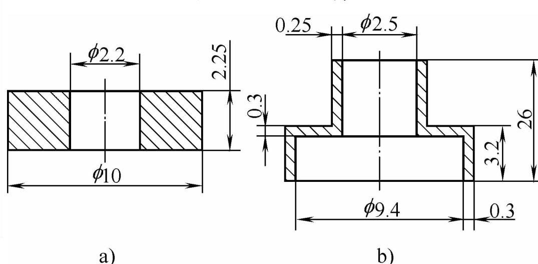


图 11-63　控制盒

实例 64　铜合金转子杯

零件材料：H68 黄铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-64a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷挤压成形（见图 11-64b）。

5）去应力退火。

实例 65　罩盖

零件材料：H62 黄铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-65a）。

2）退火。

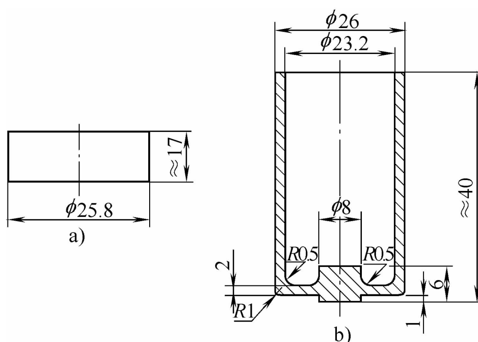


图 11-64　铜合金转子杯

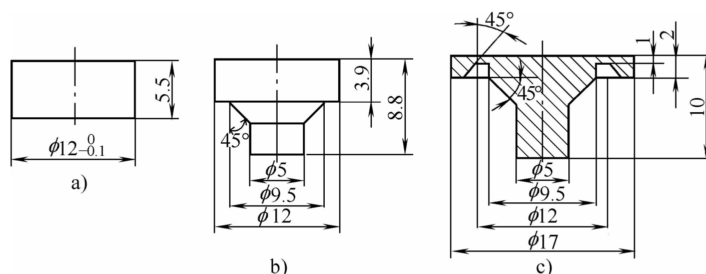


图 11-65　罩盖

3）酸洗、润滑。

4）正挤压（见图 11-65b）。

5）镦挤复合挤压成形（见图 11-65c）。

实例 66　铜管接头

零件材料：TP2 脱氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-66a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）冷镦挤成形（见图 11-66b）。

实例 67　银触头

零件材料：纯银

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-67a）。

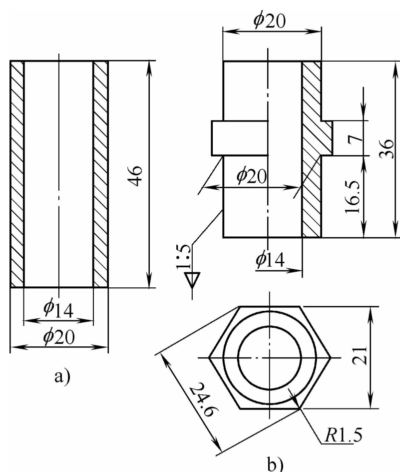


图 11-66　铜管接头

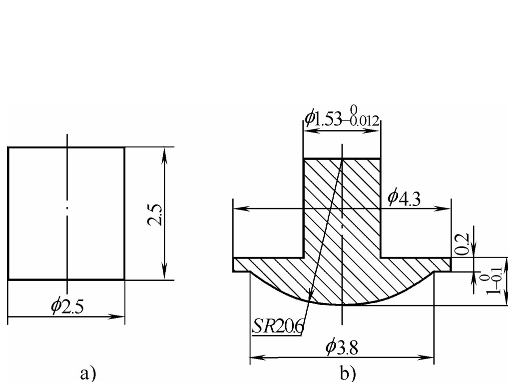


图 11-67　银触头

2）润滑。

3）冷挤压成形（见图 11-67b）。

实例 68　阴极头

零件材料：镍

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-68a）。

2）整形（见图 11-68b）。

3）第一次冷挤压（见图 11-68c）。

4）第二次冷挤压（见图 11-68d）。

5）第三次冷挤压成形（见图 11-68e）。

6）变薄拉深（见图 11-68f）。

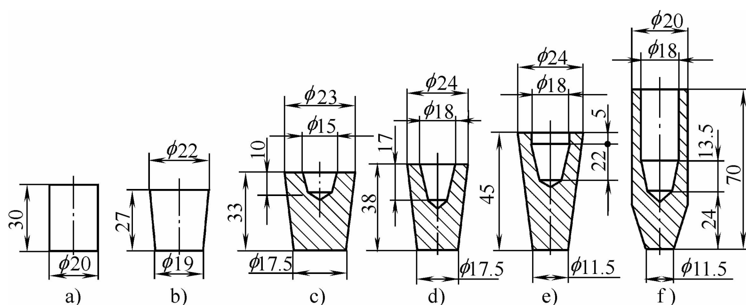


图 11-68　阴极头

实例 69　膨胀合金接头

零件材料：4J29 膨胀合金［*w*（Ni）＝28%，*w*（Fe）＝53%～54%］。

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-69a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）第一次冷挤压（见图 11-69b）。

5）退火。

6）酸洗、润滑。

7）第二次冷挤压成形（见图 11-69c）。

实例 70　钢管接头

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）钢管车床下料（见图 11-70a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）冷挤压成形（见图 11-70b）。

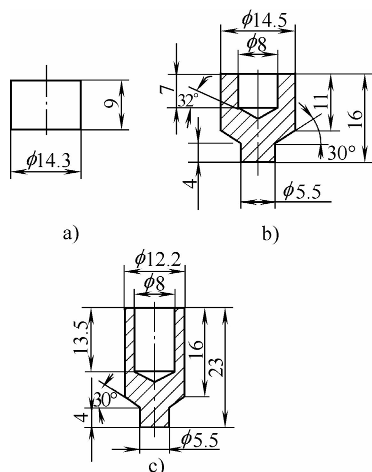


图 11-69　膨胀合金接头

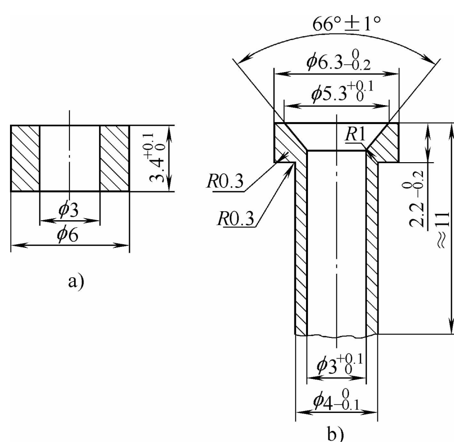


图 11-70　钢管接头

实例 71　棘轮

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）钢管车床下料（见图 11-71a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）正挤压成形（见图 11-71b）。

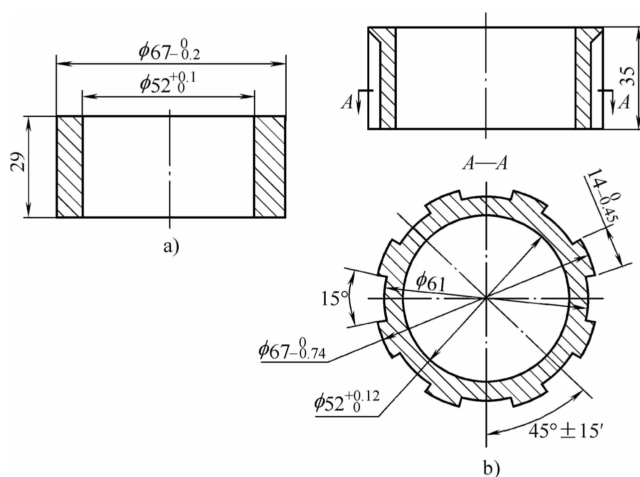


图 11-71　棘轮

实例 72　水阀套

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-72a）。

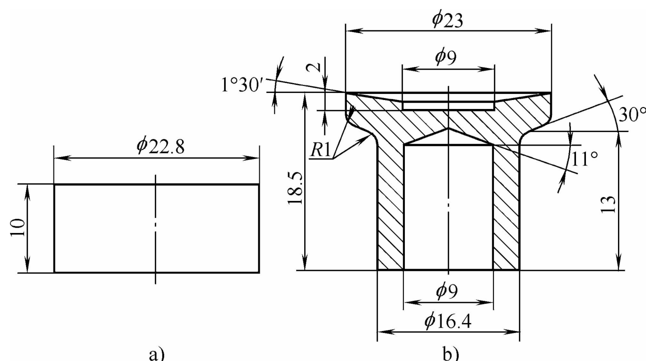


图 11-72　水阀套

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）正挤压成形（见图 11-72b）。

实例 73　钢柱体

零件材料：50 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-73a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）正挤压成形（见图 11-73b）。

实例 74　极套

零件材料：DT1 纯铁

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-74a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）冷挤压成形（见图 11-74b）。

工艺特点：本零件采用径向冷挤压与反挤压相结合的复合工艺，同时将三个突耳与内孔挤出。

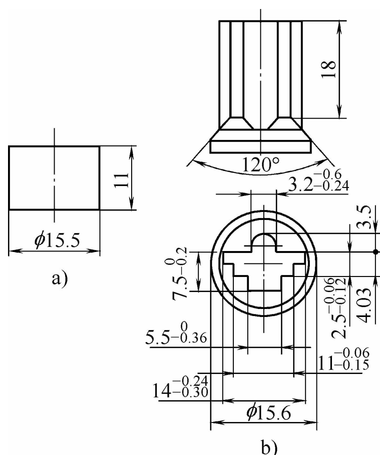


图 11-73　钢柱体

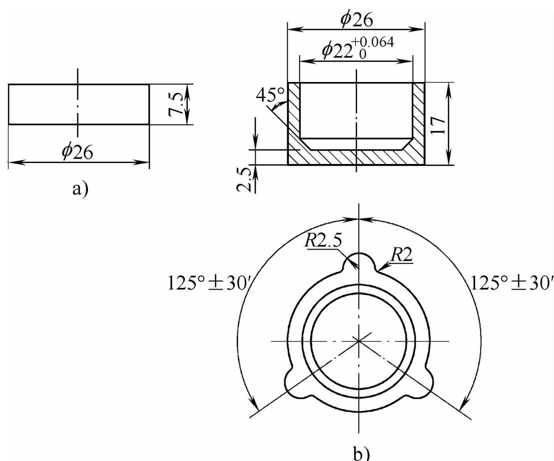


图 11-74　极套

实例 75　轴承盖

零件材料：15 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-75a）。

2）镦粗（见图 11-75b）。

3）第一次精整（见图 11-75c）。

4）第二次精整（见图 11-75d）。

5）退火。

6）酸洗、磷化、皂化。

7）反挤压成形（见图 11-75e）。

工艺特点：经过两次精整，反挤压工件的壁厚差可控制在 0.06mm 范围内。

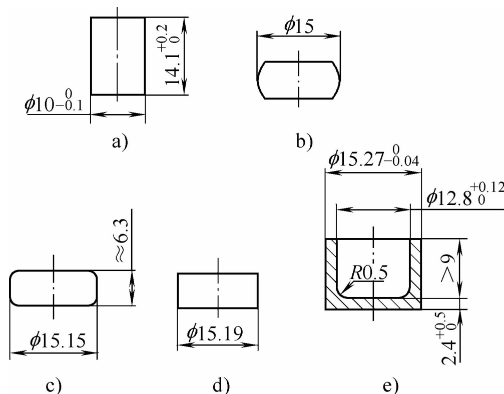


图 11-75　轴承盖

实例 76　钢碗

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-76a）。

2）预成形（见图 11-76b）。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）反挤压成形（见图 11-76c）。

实例 77　气门顶杆

零件材料：20 钢

工艺流程：

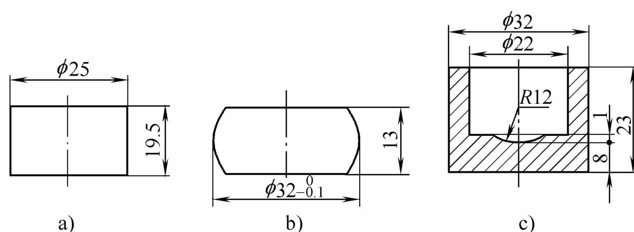


图 11-76　钢碗

1）高速带锯下料（见图 11-77a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）反挤压成形（见图 11-77b）。

实例 78　万向联轴器轴承

零件材料：16Mn 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-78a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）反挤压成形（见图 11-78b）。

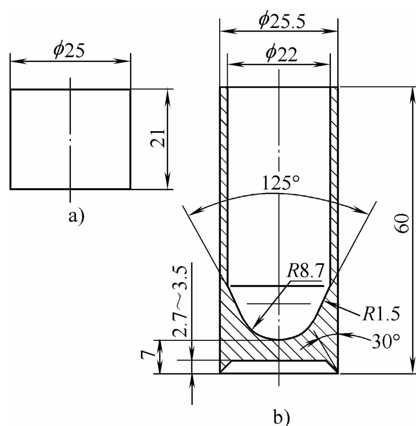


图 11-77　气门顶杆

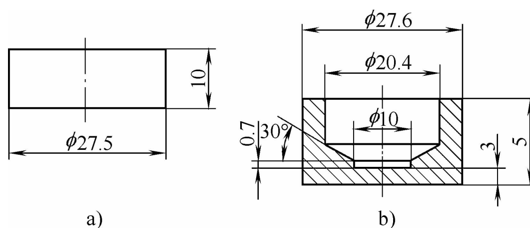


图 11-78　万向联轴器轴承

实例 79　万向联轴器轴承套

零件材料：15Mn 钢

工艺流程：

1）自动冷镦机下料（见图 11-79a）。

2）自动冷镦机镦饼（见图 11-79b）。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）反挤压成形（见图 11-79c）。

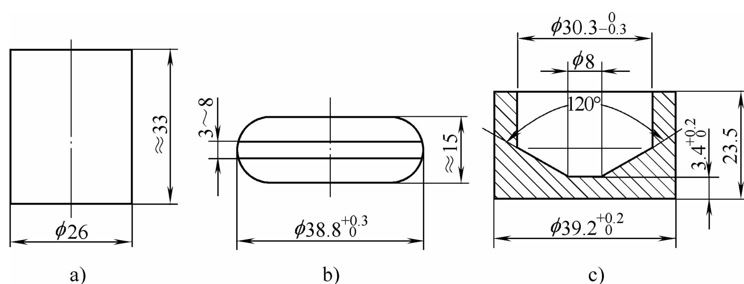


图 11-79　万向联轴器轴承套

实例 80　缝纫机梭芯套

零件材料：Q235 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-80a）。

2）滚筒去毛刺。

3）镦扁（见图 11-80b）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

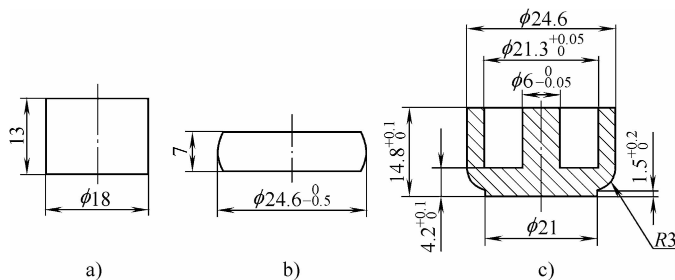


图 11-80　缝纫机梭芯套

6）冷挤压成形（见图 11-80c）。

实例 81　低脚梭芯套壳

零件材料：15 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-81a）。

2）滚筒去毛刺。

3）预成形（见图 11-81b）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

6）第一次反挤压成形（见图 11-81c）。

7）第二次反挤压成形（见图 11-81d）。

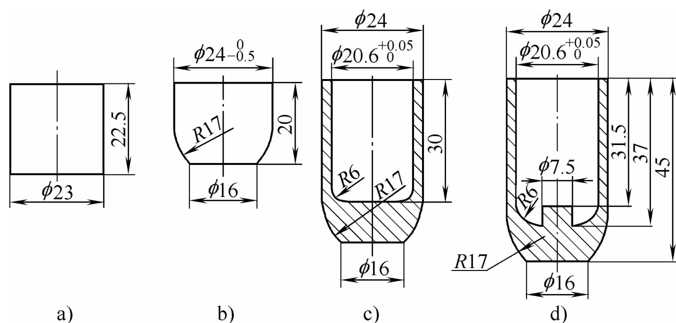


图 11-81　低脚梭芯套壳

实例 82　高脚梭芯套壳

零件材料：15 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-82a）。

2）滚筒去毛刺。

3）预成形（见图 11-82b）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

6）反挤压成形（见图 11-82c）。

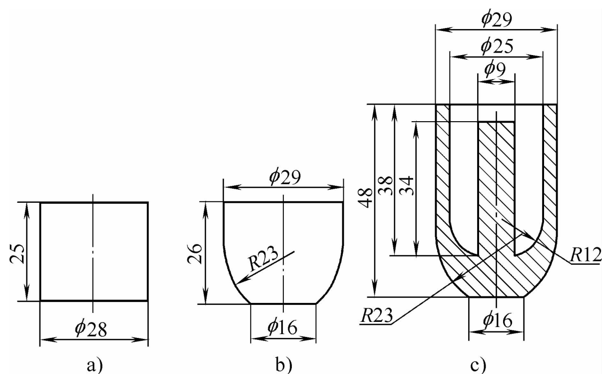


图 11-82　高脚梭芯套壳

实例 83　高脚梭芯

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）车床下料。

2）退火。

3）预成形（见图 11-83a）。

4）退火。

5）振动去除氧化皮。

6）酸洗、磷化、皂化。

7）冷挤压成形（见图 11-83b）。

工艺特点：预成形为了保证得到 ϕ8mm 心轴的高度。

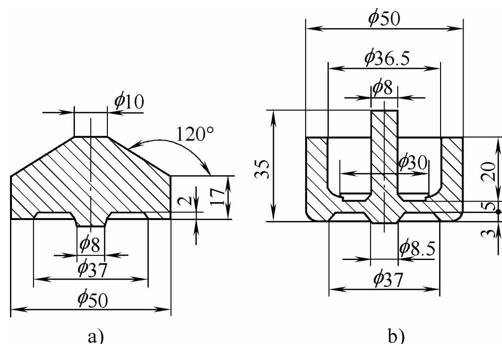


图 11-83　高脚梭芯

实例 84　长梭芯套壳

零件材料：15 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-84a）。

2）滚筒去毛刺。

3）预成形（见图 11-84b）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

6）反挤压（见图 11-84c）。

7）退火。

8）酸洗、磷化、皂化。

9）正挤压成形（见图 11-84d）。

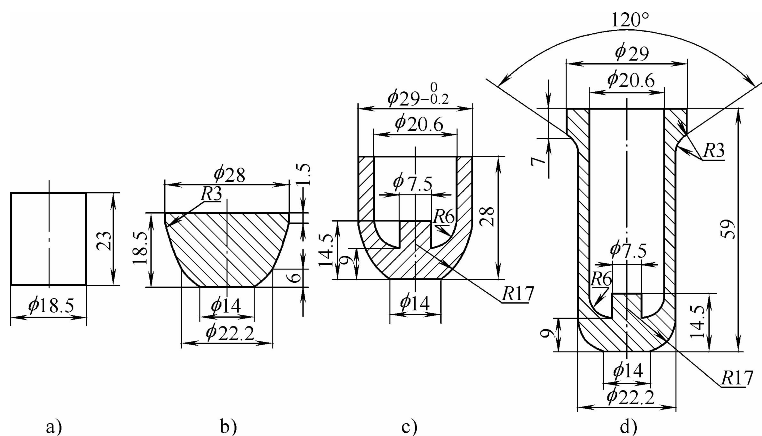


图 11-84　长梭芯套壳

实例 85　缝纫机梭床

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-85a）。

2）滚筒去毛刺。

3）镦扁（见图 11-85b）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

6）正、反复合挤压成形（见图 11-85c）。

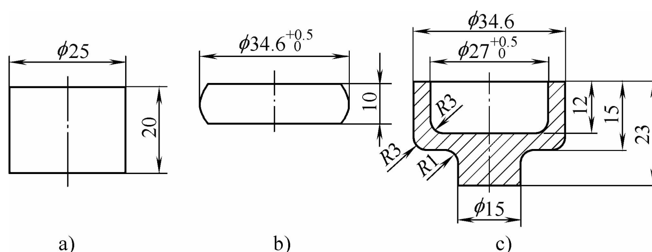


图 11-85　缝纫机梭床

实例 86　缝纫机梭芯

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-86a）。

2）滚筒去毛刺。

3）镦扁。

4）退火。

5）钻孔（见图 11-86b）。

6）酸洗、磷化、皂化。

7）冷挤压成形（见图 11-86c）。

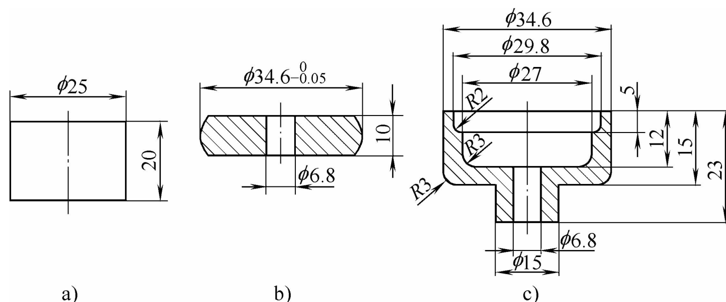


图 11-86　缝纫机梭芯

实例 87　火花塞壳体

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）冲床下料（见图 11-87a）。

2）滚筒去毛刺。

3）镦平（见图 11-87b）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

6）正、反复合挤压成形（见图 11-87c）。

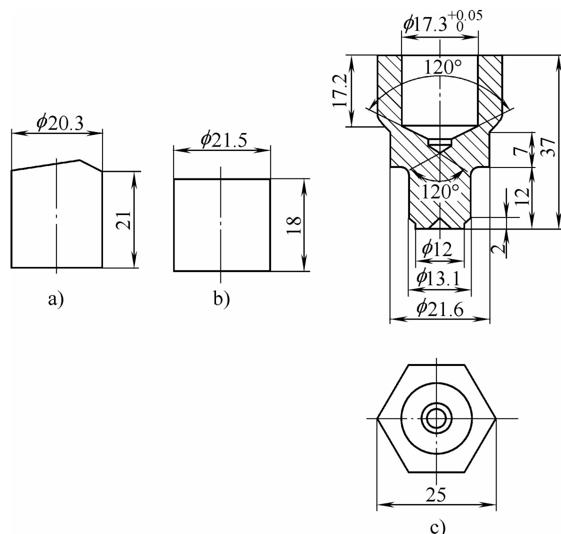


图 11-87　火花塞壳体

实例 88　前轮胎螺母

零件材料：35 钢

工艺流程：

1）六方棒高速带锯下料（见图 11-88a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）预成形（见图 11-88b）。

6）镦挤成形（见图 11-88c）。

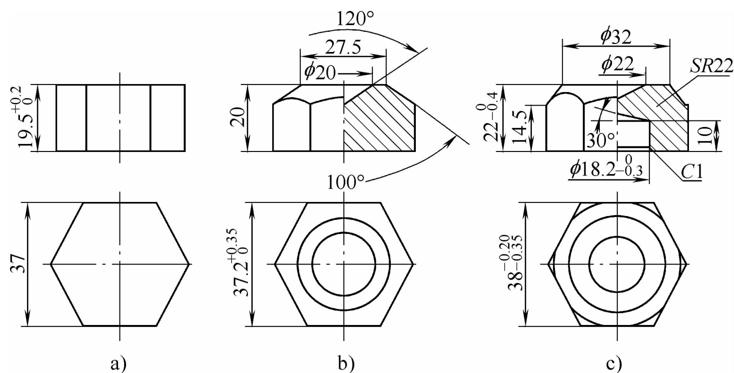


图 11-88　前轮胎螺母

实例 89　重型汽车轮胎螺母

零件材料：35 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-89a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）第一次冷挤压（见图 11-89b）。

6）退火。

7）酸洗、磷化、皂化。

8）第二次冷挤压（见图 11-89c）。

9）第三次反挤压成形（见图 11-89d）。

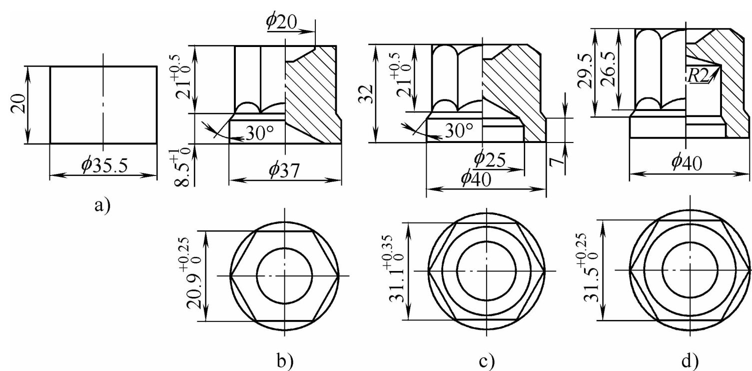


图 11-89　重型汽车轮胎螺母

实例 90　轮胎螺母

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-90a）。

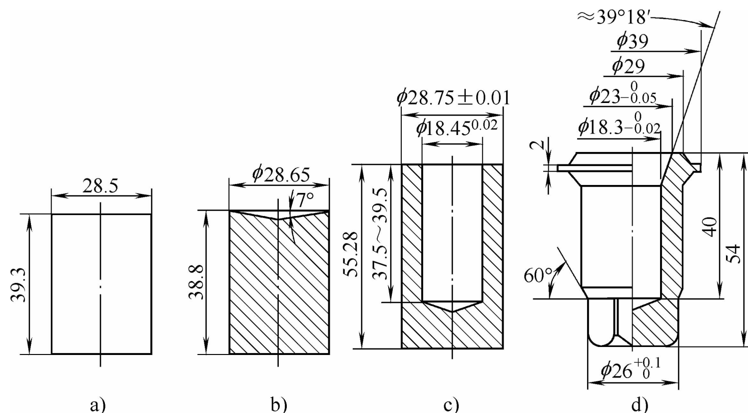


图 11-90　轮胎螺母

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）压凹兼整形（见图 11-90b）。

6）反挤压成形（见图 11-90c）。

7）镦挤复合挤压成形（见图 11-90d）。

实例 91　支承螺钉

零件材料：08 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-91a）。

2）退火。

3）滚筒去氧化皮。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）第一次冷挤压（见图 11-91b）。

6）第二次冷挤压（见图 11-91c）。

7）镦挤头部（见图 11-91d）。

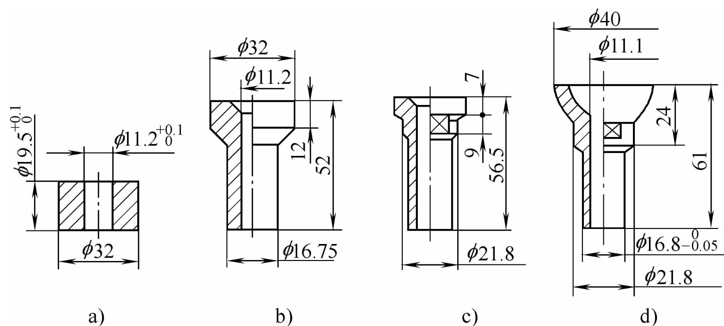


图 11-91　支承螺钉

实例 92　汽车球头销

零件材料：18CrMnTi 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-92a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）预成形（见图 11-92b）。

5）镦挤头部（见图 11-92c）。

6）切边。

实例 93　接头螺母

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-93a）。

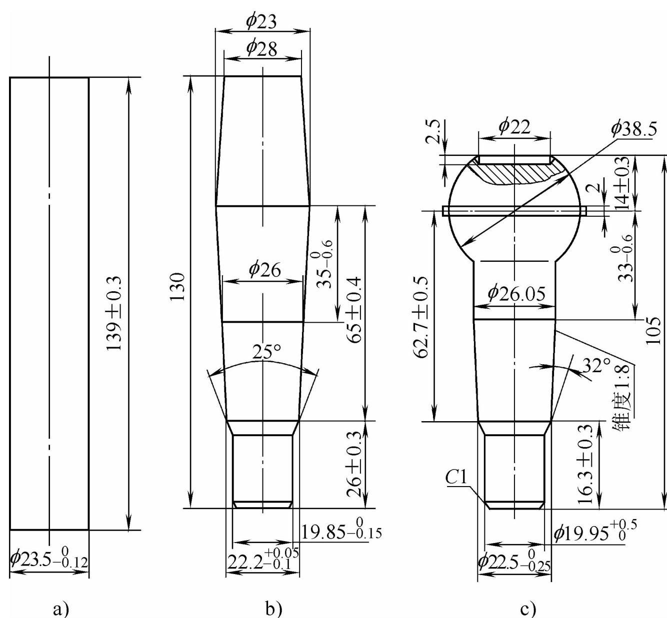


图 11-92　汽车球头销

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）第一次冷挤压（见图 11-93b）。

5）第二次冷挤压（见图 11-93c）。

6）退火。

7）酸洗、磷化、皂化。

8）第三次冷挤压成形（见图 11-93d）。

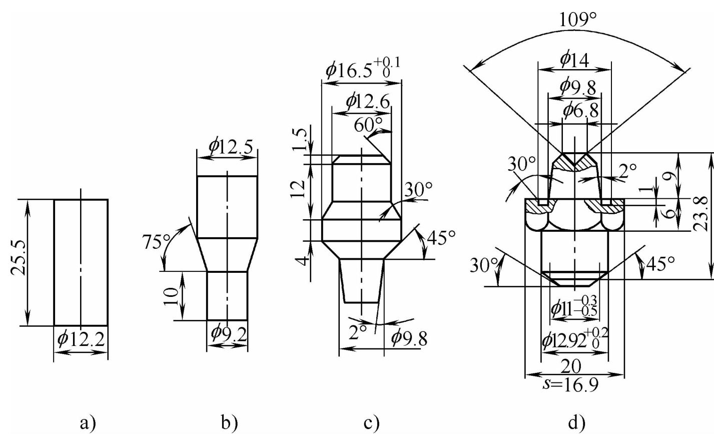


图 11-93　接头螺母

实例 94　钢接头

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-94a）。

2）头部预成形（见图 11-94b）。

3）冷镦成形（见图 11-94c）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

6）镦挤六方成形（见图 11-94d）。

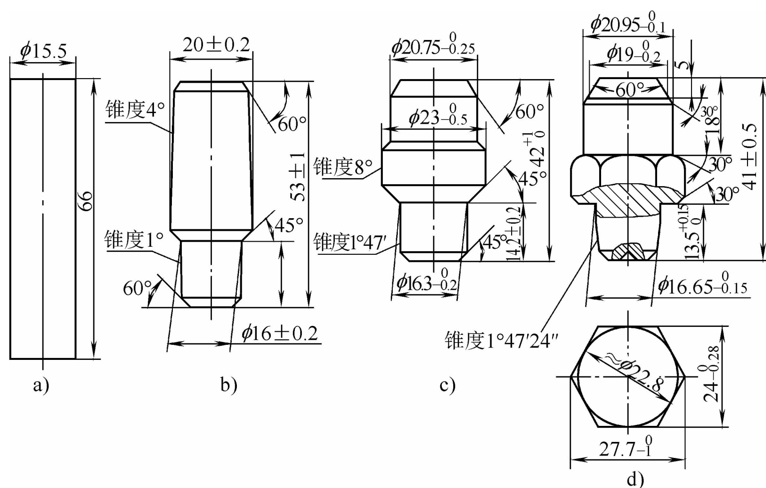


图 11-94　钢接头

实例 95　钻夹头钥匙

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-95a）。

2）滚筒去毛刺。

3）预成形（见图 11-95b）。

4）退火。

5）酸洗、磷化、皂化。

6）冷挤压成形（见图 11-95c）。

实例 96　圆头螺钉

零件材料：08 钢

工艺流程：

1）高速带锯下料（见图 11-96a）。

2）退火。

3）滚筒去氧化皮。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）正挤压成形（见图 11-96b）。

6）冷挤压头部（见图 11-96c）。

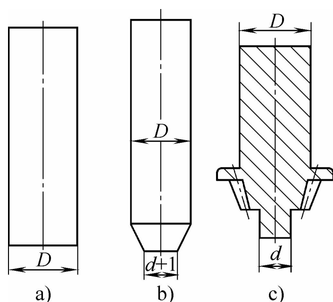


图 11-95　钻夹头钥匙

注：D、d 尺寸根据要求选定。

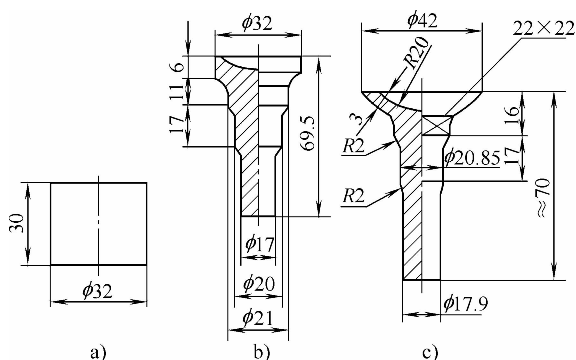


图 11-96　圆头螺钉

实例 97　气门弹簧座

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-97a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）冷挤压成形（见图 11-97b）。

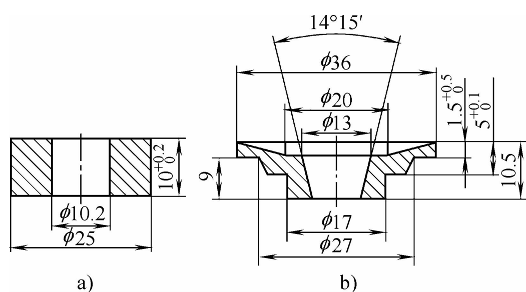


图 11-97　气门弹簧座

实例 98　矩形外罩壳

零件材料：08 钢

工艺流程：

1）型材高速带锯下料（见图 11-98a）。

2）滚筒去毛刺。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）第一次冷挤压（见图 11-98b）。

6）退火。

7）酸洗、磷化、皂化。

8）第二次正挤压成形（见图 11-98c）。

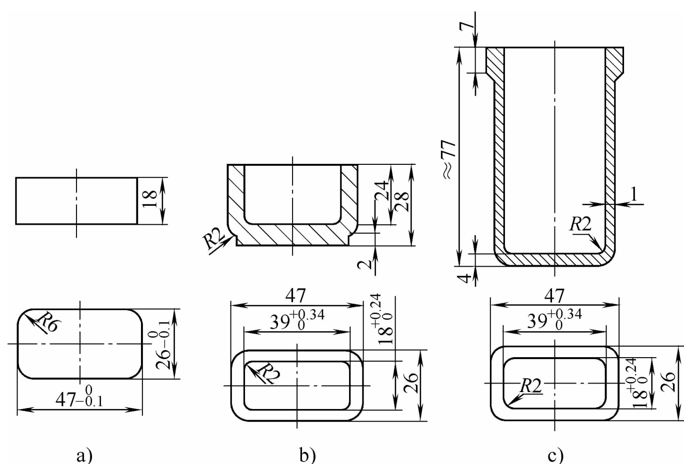


图 11-98　矩形外罩壳

工艺特点：为得到平底零件，第一次挤压及平底，第二次采用正挤压刚性平移法变形。

实例 99　支承杆

零件材料：20Cr13 不锈钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-99a）。

2）退火。

3）酸洗、草酸盐处理、皂化。

4）正挤压成形（见图 11-99b）。

5）镦粗头部（见图 11-99c）。

工艺特点：采用二次变形比一次复合变形较为合理，但一次成形变形力大。

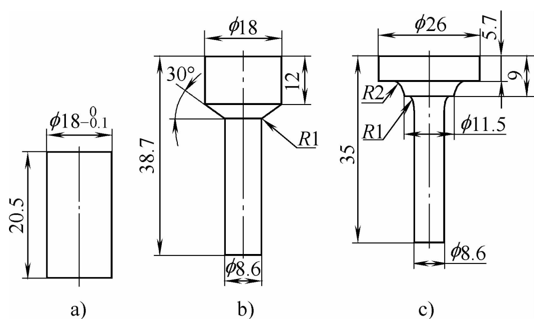


图 11-99　支承杆

实例 100　导管

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-100a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）第一次复合挤压（见图 11-100b）。

5）退火。

6）酸洗、磷化、皂化。

7）第二次正挤压（见图 11-100c）。

8）切边（见图 11-100d）。

9）退火。

10）酸洗、磷化、皂化。

11）第一次拉深（见图 11-100e）。

12）第二次拉深、切边（见图 11-100f）。

13）车底、平扁（见图 11-100g）。

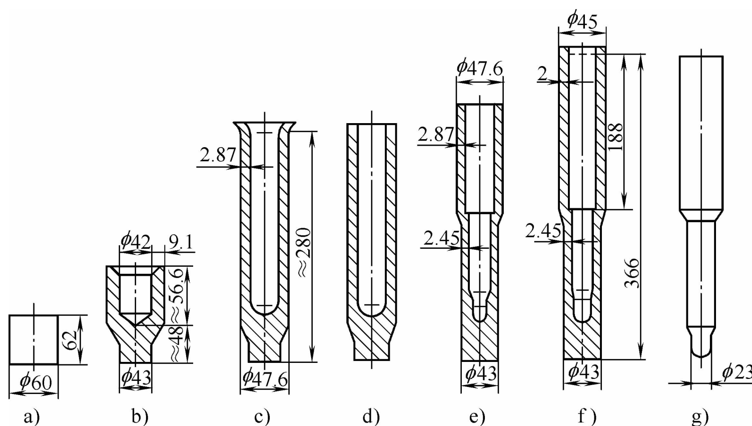


图 11-100　导管

实例 101　半轴

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-101a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）正挤压成形（见图 11-101b）。

5）镦挤成形（见图 11-101c）。

实例 102　注射杯

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-102a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）第一次正挤压（见图 11-102b）。

5）第二次反挤压（见图 11-102c）。

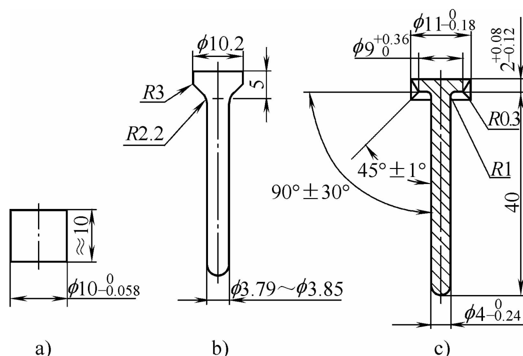


图 11-101　半轴

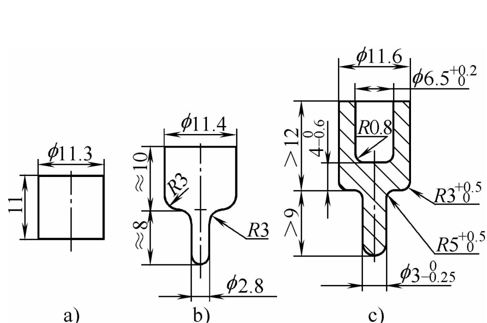


图 11-102　注射杯

实例 103　通风机壳体

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-103a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）第一次复合挤压（见图 11-103b）。

5）退火。

6）酸洗、磷化、皂化。

7）第二次复合挤压（见图 11-103c）。

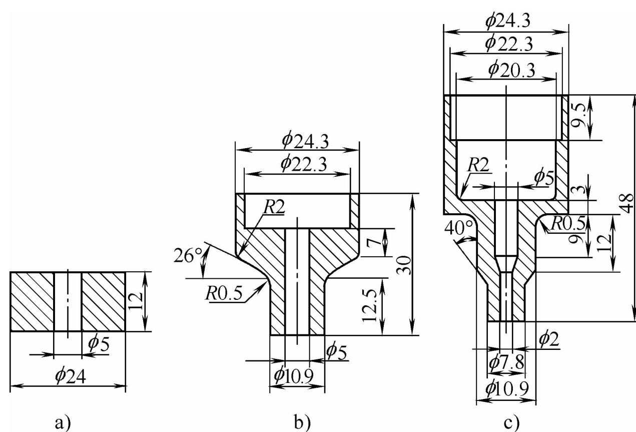


图 11-103　通风机壳体

实例 104　缓冲器衬套

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-104a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）预成形（见图 11-104b）。

5）反挤压（见图 11-104c）。

6）冲底（见图 11-104d）。

7）退火。

8）酸洗、磷化、皂化。

9）正挤压成形（见图 11-104e）。

10）退火。

11）酸洗、磷化、皂化。

12）正挤压成形（见图 11-104f）。

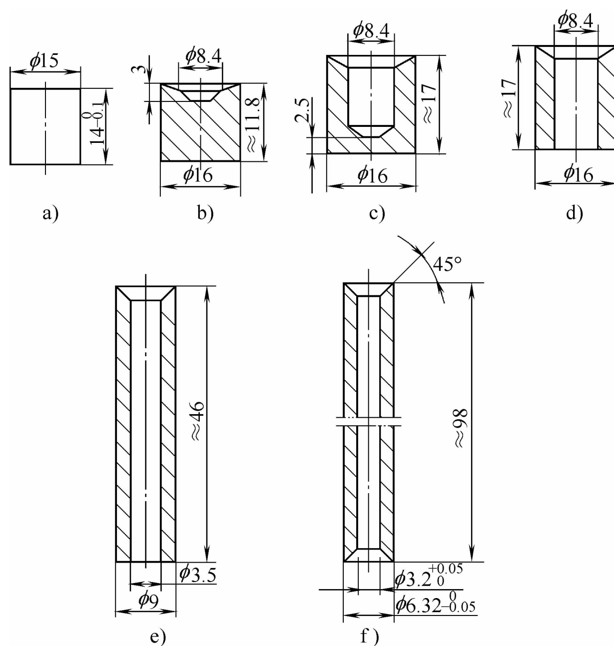


图 11-104　缓冲器衬套

实例 105　仪表座

零件材料：15 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-105a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）反挤压成形（见图 11-105b）。

5）镦头（见图 11-105c）。

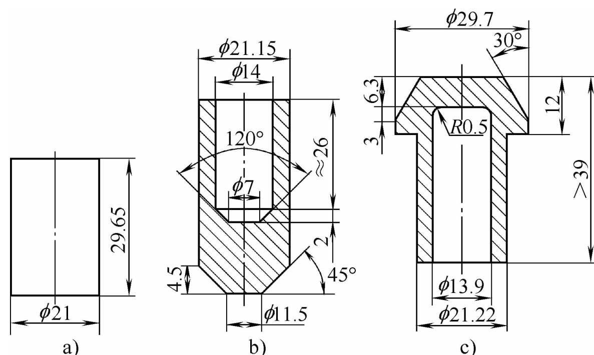


图 11-105　仪表座

实例 106　气管螺母

零件材料：45 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-106a）。

2）镦扁（见图 11-106b）。

3）球化退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）反挤压成形，冲底（见图 11-106c）。

6）退火。

7）酸洗、磷化、皂化。

8）正挤镦六方（见图 11-106d）。

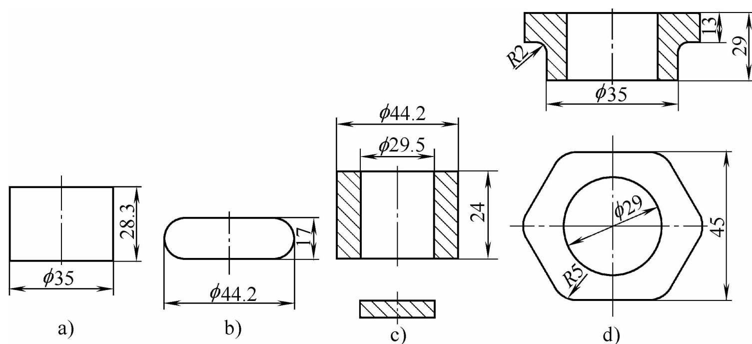


图 11-106　气管螺母

实例 107　深孔气缸

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-107a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）第一次复合挤压（见图 11-107b）。

5）退火。

6）酸洗、磷化、皂化。

7）第二次正挤压（见图 11-107c）。

8）车床切割头部（见图 11-107d）。

9）退火。

10）酸洗、磷化、皂化。

11）第三次正挤压成形（见图 11-107e）。

12）去应力退火。

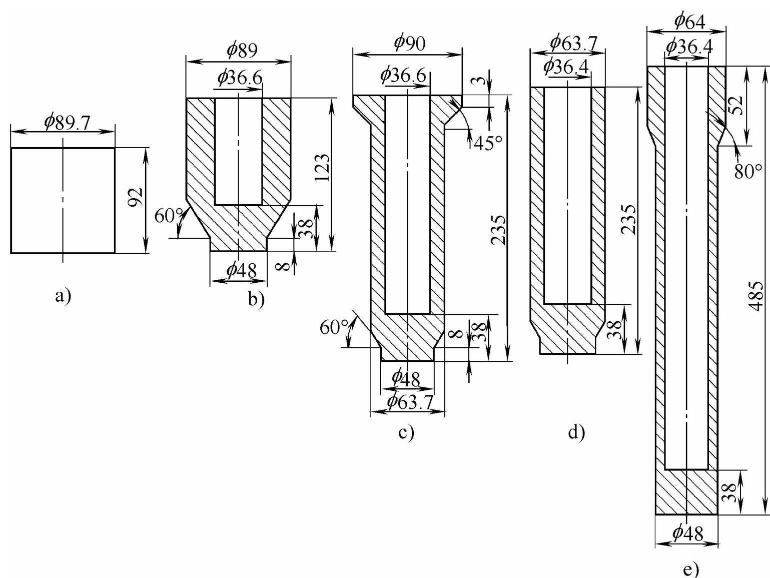


图 11-107　深孔气缸

实例 108　轴承圈

零件材料：GCr15 轴承钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-108a）。

2）镦扁（见图 11-108b）。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）正、反复合挤压成形（见图 11-108c）。

6）冲底、整形（见图 11-108d）。

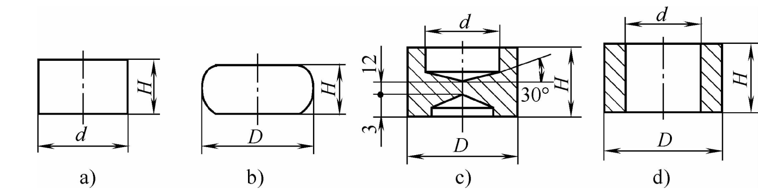


图 11-108　轴承圈

注：1. 图 11-108a 中尺寸如下：

尺寸 型号	d	H
201	15	16
202	16.5	33
203	20	44

2. 图 11-108b 中尺寸如下：

尺寸 型号	D	H
201	17.9	7.7
202	20.6	9
203	25.3	11.5

3. 图 11-108c 中尺寸如下：

尺寸 型号	D	d	H
201	18.1	11.55	10.8
202	20.8	14.55	11.8
203	25.45	16.55	14.8

4. 图 11-108d 中尺寸如下：

尺寸 型号	D	d	H
201	18.2	11.65	10.8
202	20.9	14.65	11.8
203	25.5	16.65	14.8

实例 109　深孔锥形件

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-109a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）压凹兼整形（见图 11-109b）。

5）反挤压成形（见图 11-109c）。

6）退火。

7）酸洗、磷化、皂化。

8）复合挤压成形（见图 11-109d）。

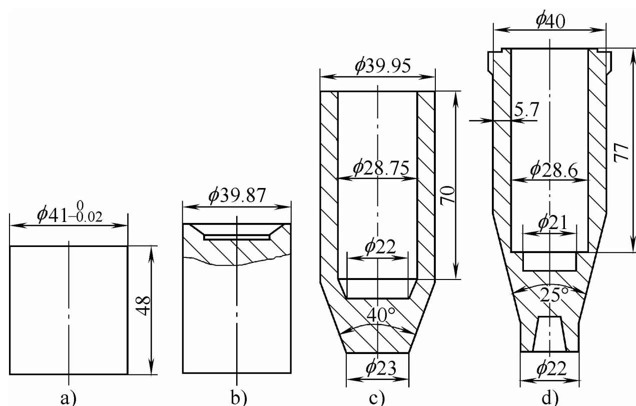


图 11-109　深孔锥形件

实例 110　单向带孔锥形件

零件材料：15 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-110a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）正反复合挤压（见图 11-110b）。

5）镦挤锥体成形（见图 11-110c）。

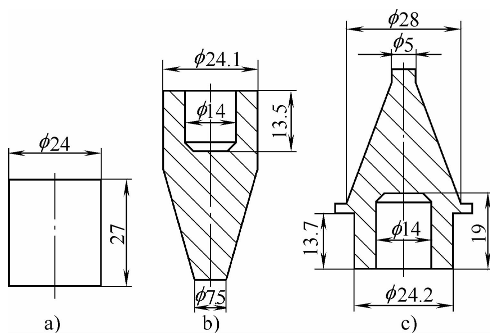


图 11-110　单向带孔锥形件

实例 111　双向带孔锥形件

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-111a）。

2）预成形（见图 11-111b）。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）正反复合挤压（见图 11-111c）。

6）冷镦成形（见图 11-111d）。

实例 112　花键轴套

零件材料：GCr15 轴承钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-112a）。

2）退火。

3）滚筒去氧化皮。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）正挤压花键（见图 11-112b）。

6）镦挤球头体成形（见图 11-112c）。

实例 113　波轮轴

零件材料：45 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-113a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）正挤压成形（见图 11-113b）。

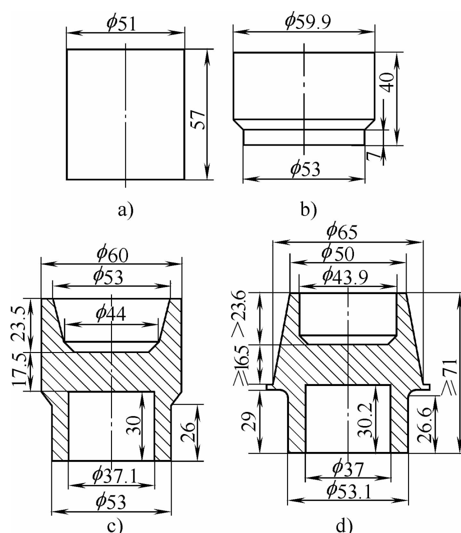


图 11-111　双向带孔锥形件

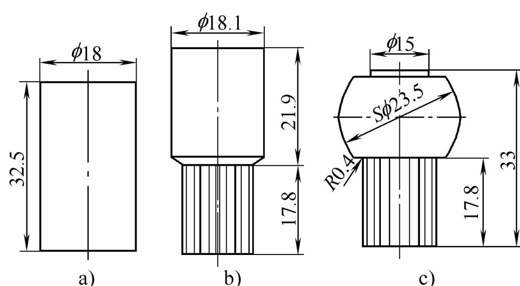


图 11-112　花键轴套

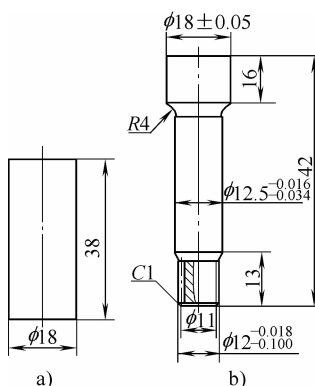


图 11-113　波轮轴

实例 114　内棘齿轮

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-114a）。

2）冷镦（见图 11-114b）。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）正反复合挤压成形（见图 11-114c）。

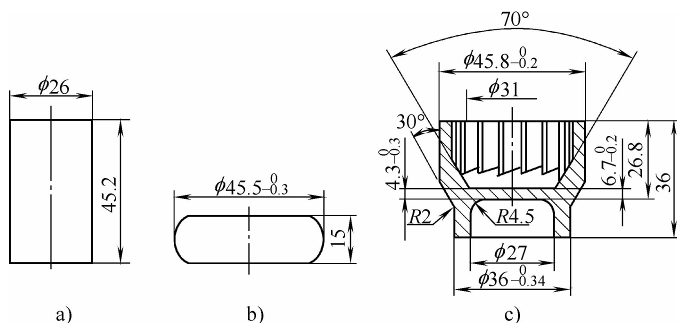


图 11-114　内棘齿轮

实例 115　阶梯孔棘齿

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-115a）。

2）冷镦（见图 11-115b）。

3）退火。

4）酸洗、磷化、皂化。

5）校形（见图 11-115c）。

6）退火。

7）酸洗、磷化、皂化。

8）第一次反挤压（见图 11-115d）。

9）棘齿反挤压成形（见图 11-115e）。

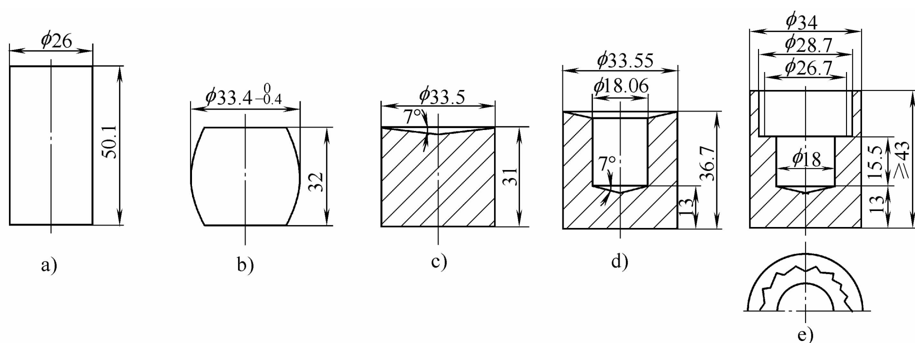


图 11-115　阶梯孔棘齿

实例 116　内棘齿壳体

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）无缝钢管（ϕ53mm×72mm）车床下料。

2）退火。

3）酸洗。

4）车床加工空心毛坯（见图 11-116a）。

5）磷化、皂化。

6）内棘齿挤压成形（见图 11-116b）。

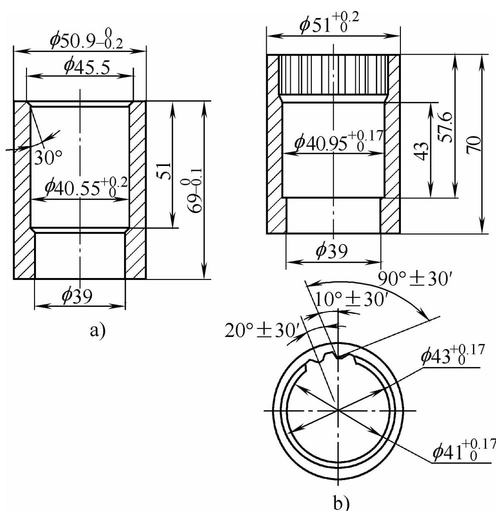


图 11-116　内棘齿壳体

实例 117　内齿套筒

零件材料：20Cr 钢

工艺流程：

1）无缝钢管车削加工成筒形毛坯（见图 11-117a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）双向挤压成形（见图 11-117b）。

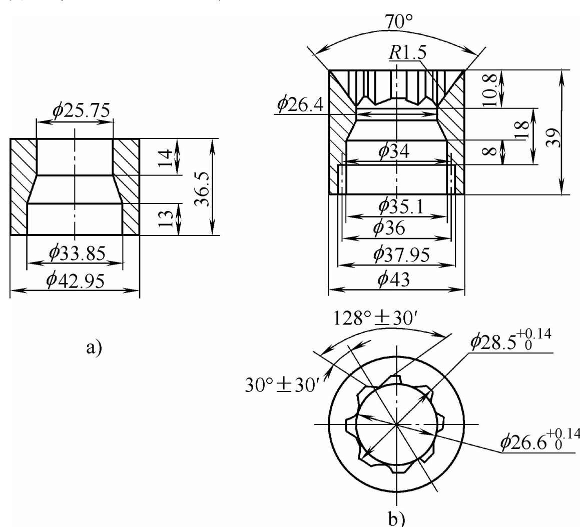


图 11-117　内齿套筒

实例 118　驱动齿轮

零件材料：20CrMnTi 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-118a）。

2）退火。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）正反复合挤压成形（见图 11-118b）。

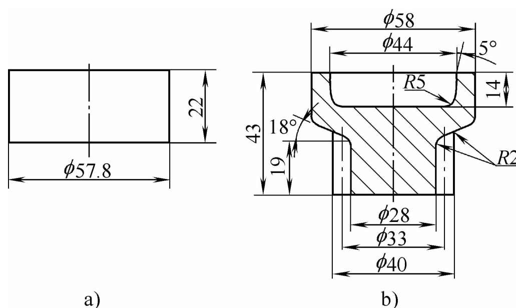


图 11-118　驱动齿轮

实例 119　锥形支座

零件材料：TU2 无氧铜

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-119a）。

2）退火。

3）毛坯加热至 300°C。

4）温挤压成形（见图 11-119b）。

实例 120　法兰轴套

零件材料：H68 黄铜

工艺流程：

1）复合模冲孔落料（见图 11-120a）。

2）退火。

3）酸洗、润滑。

4）加热毛坯（350～400°C）。

5）温挤压成形（见图 11-120b）。

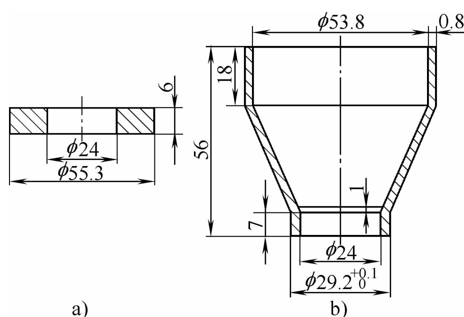


图 11-119　锥形支座

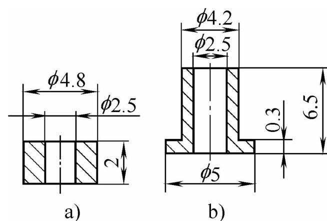


图 11-120　法兰轴套

实例 121　水冷接头

零件材料：12Cr18Ni9 不锈钢

工艺流程：

1）空心管车床下料（见图 11-121a）。

2）淬火软化处理（130HBW）。

3）酸洗、草酸盐处理。

4）加热毛坯（260°C）。

5）润滑［15%（质量分数）MoS_2 加 85%（质量分数）氯化石蜡］。

6）温挤压成形（见图 11-121b）。

实例 122　钎套

零件材料：T10A 碳素工具钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-122a）。

2）加热毛坯（650 ~ 700°C）。

3）润滑。

4）温挤压成形（见图 11-122b）。

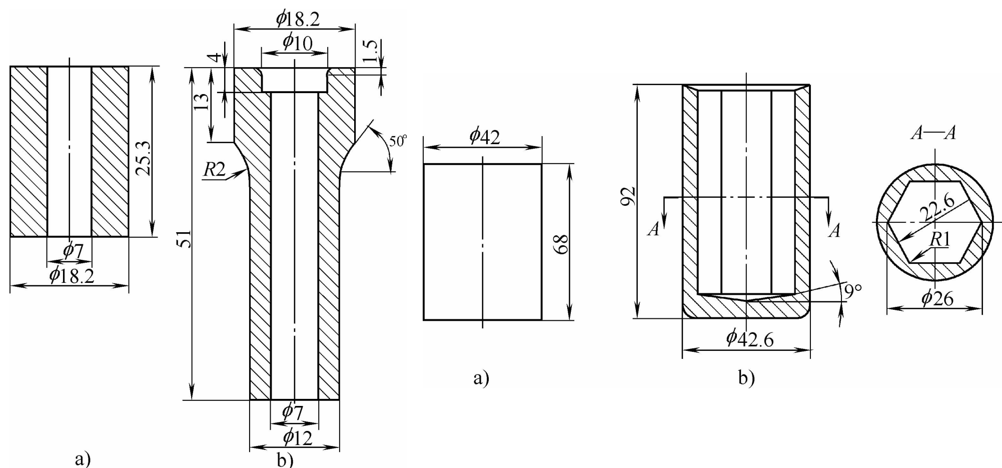


图 11-121　水冷接头

图 11-122　钎套

实例 123　球头销

零件材料：40MnB 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-123a）。

2）光亮退火（ < 145HBW）。

3）酸洗、磷化、皂化。

4）整形（见图 11-123b）。

5）冷挤压预成形（见图 11-123c）。

6）中频加热（750°C）。

7）温挤压成形（见图 11-123d）。

实例 124　端盖

零件材料：20 钢

工艺流程：

1）板材落料（见图 11-124a）。

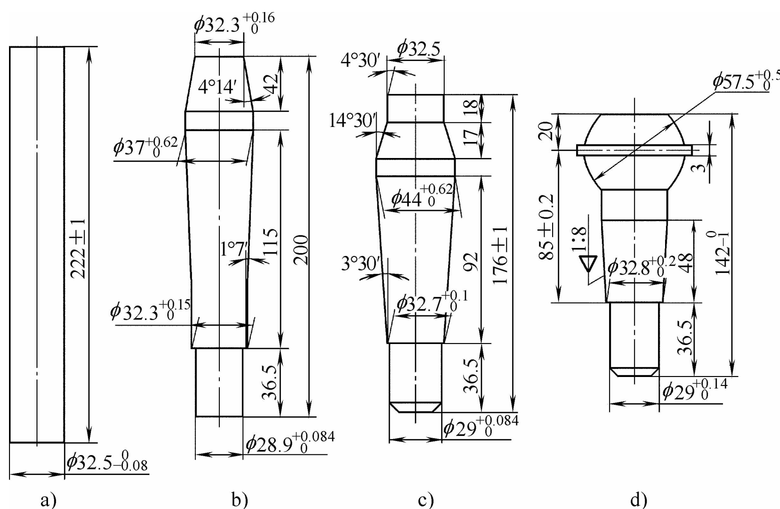


图 11-123　球头销

2）加热毛坯（750°C）。

3）润滑。

4）温挤压成形（见图 11-124b）。

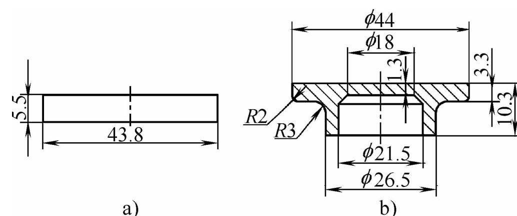


图 11-124　端盖

实例 125　调速套

零件材料：15Cr 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-125a）。

2）加热毛坯（700°C）。

3）润滑。

4）温挤压成形（见图 11-125b）。

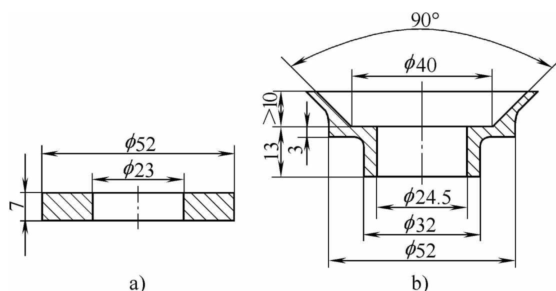


图 11-125　调速套

实例 126　不锈钢外壳

零件材料：12Cr18Ni9 不锈钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-126a）。

2）淬火软化处理（120 ~ 130HBW）。

3）酸洗、草酸盐处理。

4）加热毛坯（260°C）。

5）第一次温挤压（见图 11-126b）。

6）淬火软化处理（120 ~ 130HBW）。

7）酸洗、草酸盐处理。

8）加热毛坯（260°C）。

9）第二次温挤压成形（见图 11-126c）。

工艺特点：第一次复合挤压出 ϕ21mm 处，第二次成形采用正挤压刚性平移，保证底部平整。

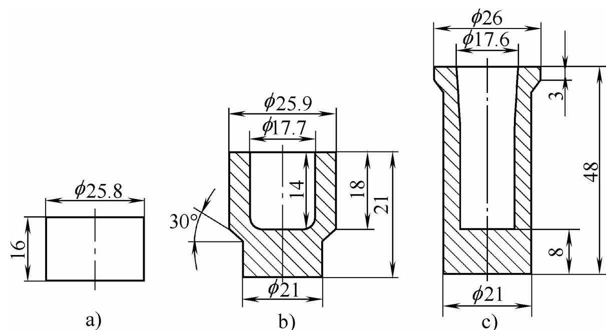


图 11-126　不锈钢外壳

实例 127　油泵活塞

零件材料：45 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-127a）。

2）镦扁（见图 11-127b）。

3）加热毛坯（700°C ± 20°C）。

4）润滑。

5）温挤压成形（见图 11-127c）。

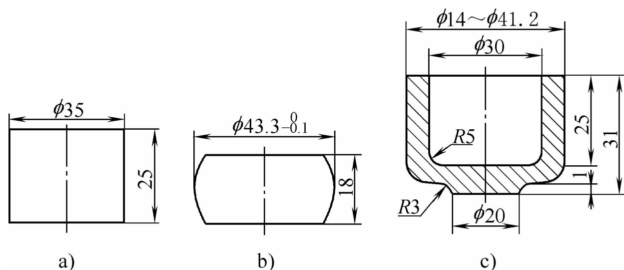


图 11-127　油泵活塞

实例 128　磁极

零件材料：10 钢

工艺流程：

1）车床下料（见图 11-128a）。

2）加热毛坯（700 ~ 750°C）。

3）润滑。

4）温挤压成形（见图 11-128b）。

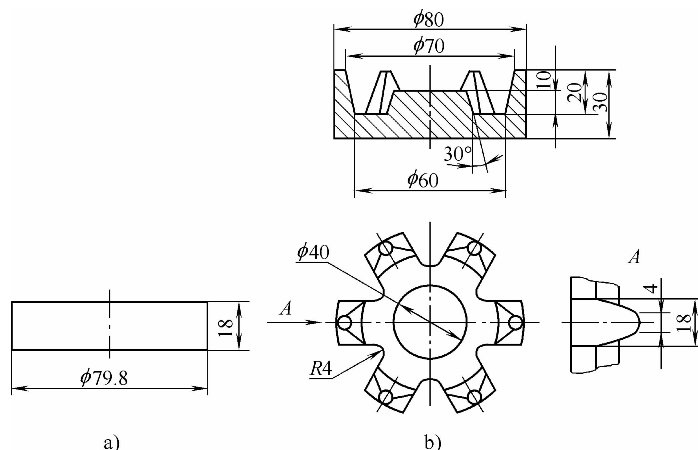


图 11-128　磁极

实例 129　火花塞壳体（多工位自动机）

零件材料：10 钢盘料

工艺流程：

1）下料（多工位自动机上第一工位）。

2）整平（多工位自动机上第二工位，见图 11-129a）。

3）正挤压小圆柱体（多工位自动机上第三工位，见图 11-129b）。

4）挤压六角和大孔（多工位自动机上第四工位，见图 11-129c）。

5）反挤压大圆柱体（多工位自动机上第五工位，见图 11-129d）。

6）反挤压小圆柱体（多工位自动机上第六工位，见图 11-129e）。

7）冲连皮和挤光（多工位自动机上第七工位，见图 11-129f）。

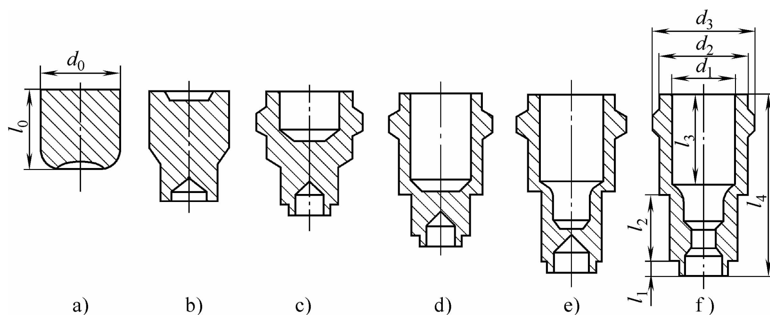


图 11-129　火花塞壳体

第 12 章　冷挤压模具结构设计实例

实例 1　薄壁管冷挤压模具

零件材料：1070A 纯铝

毛坯图：图 12-1a

零件图：图 12-1b

模具结构图：图 12-1c

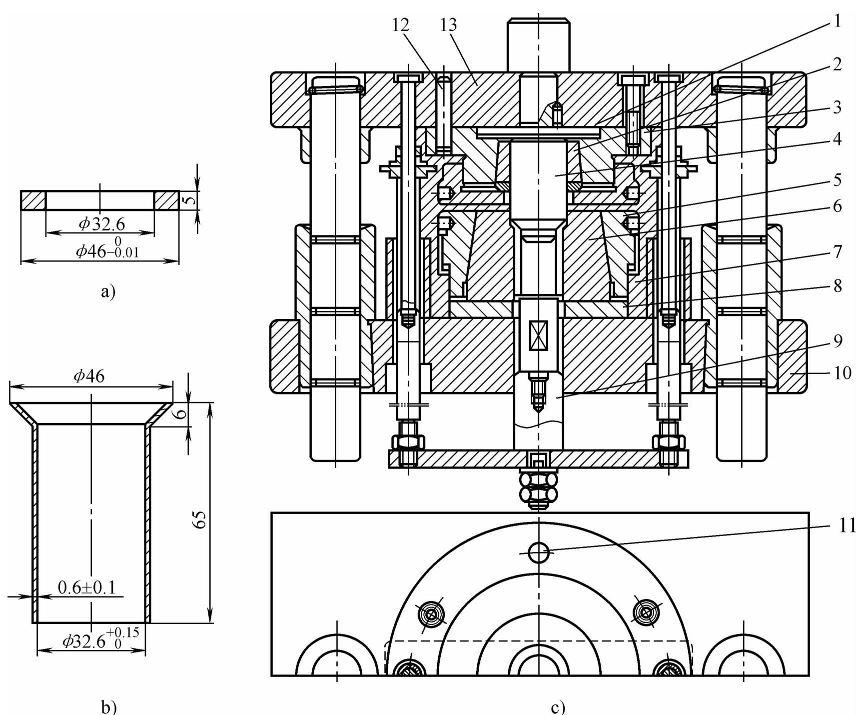


图 12-1　薄壁管冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上垫板　2—弹簧夹头　3—凸模固定圈　4—凸模　5—锥形套　6—凹模　7—定位外圈

8—下垫板　9—顶出器　10—下模板　11、12—圆柱销　13—上模板

说明：

1）本模具为正挤压有色金属用通用模。

2）模架采用导柱导向，导柱导套采用一级精度配合（一般精度的挤压模则可采用二级配合）。

3）凸模 4 通过凸模固定圈 3 和弹簧夹头 2 固定，凹模 6 用锥形套 5 压紧。凸模与凹模的同轴度用圆柱销 11 与 12 来保证。锥形套 5 与定位外圈 7 采用间隙配合。

4）工作挤出后，在压力机回程时，用拉杆式顶出器 9 将工件顶出。

5）凹模 6 下面与凸模 4 上面分别垫以淬硬垫板 8 与 1。

6）上模板 13 与下模板 10 采用中碳钢材料。

实例 2　管罩冷挤压模具

零件材料：1060 纯铝

毛坯图：图 12-2a

零件图：图 12-2b

模具结构图：图 12-2c

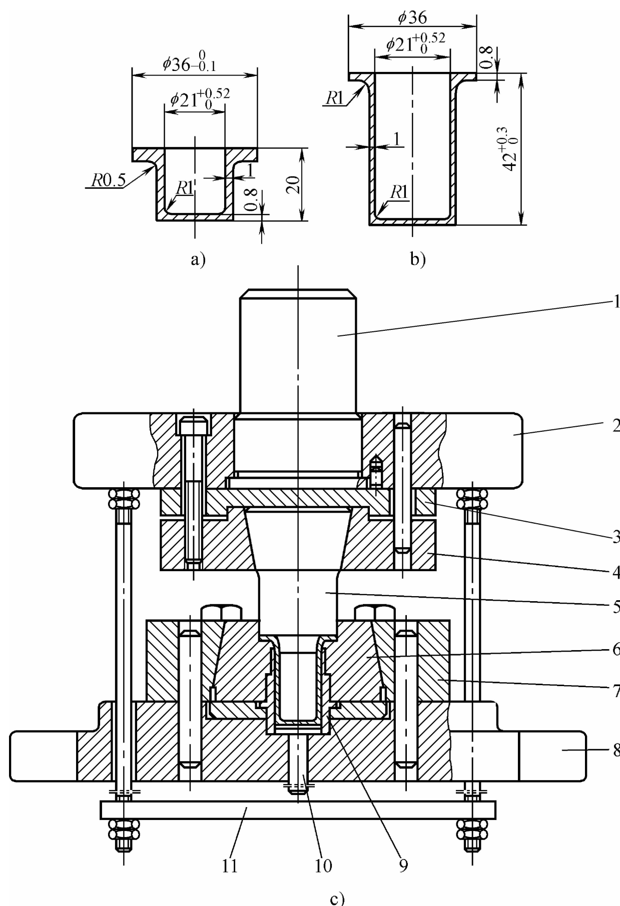


图 12-2　管罩冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—模柄　2—上模板　3—垫板　4—凸模固定圈　5—凸模　6—凹模　7—凹模固定圈

8—下模板　9—导向套　10—顶杆　11—顶出板

说明：

1）本模具为空心件正挤压模。

2）模具装有导向套 9，防止挤出工件弯曲。

3）用凸模 5 的非工作部分与凹模 6 实行导向，使其结构简单、有效。

实例 3　铆管冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-3a

零件图：图 12-3b

模具结构图：图 12-3c

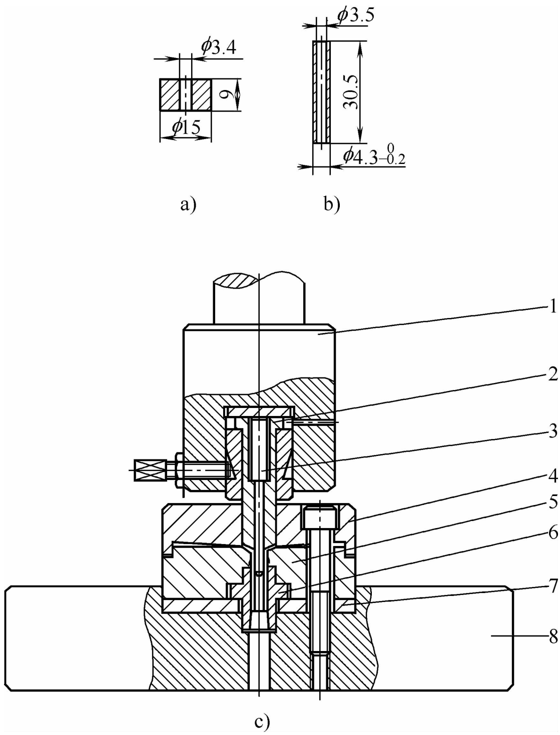


图 12-3　铆管冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—模柄　2—凸模衬套　3—凸模　4—凹模压圈　5—凹模

6—导向套　7—垫板　8—下模板

说明：

1）模具用于纯铝空心件正挤压。

2）凹模采用分体结构，由 4、5 两件组成。这种结构能有效地防止凹模横向开裂。

3）导向套 6 用于防止挤压件弯曲。

4）模具不设顶件机构，挤压件直接从下面挤出。第一个工件是靠第二个毛坯的连续挤压而推出的。

实例 4　抽动式衬套正挤压、切边模

零件材料：1200 纯铝

毛坯图：图 12-4a

零件图：图 12-4b

模具结构图：图 12-4c

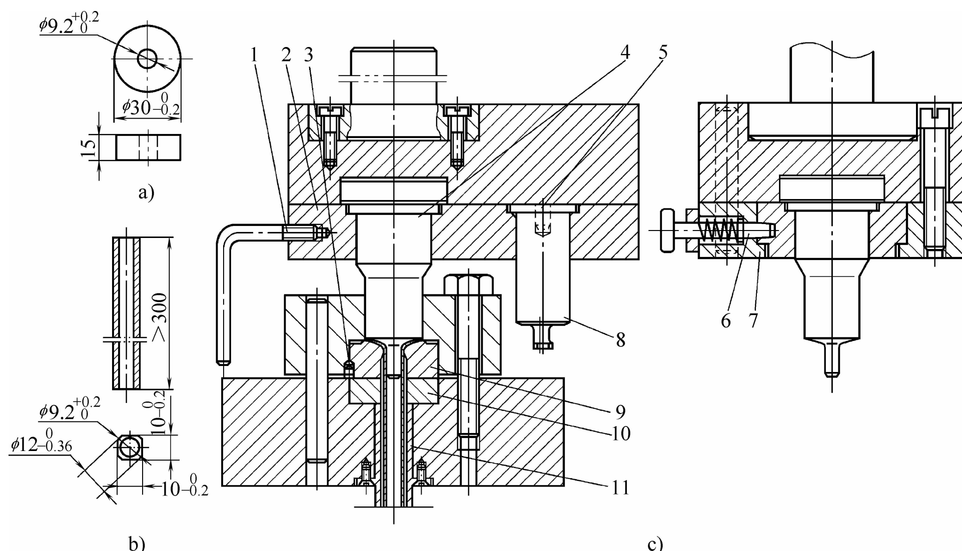


图 12-4　抽动式衬套正挤压、切边模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—手柄　2—凸模固定板　3、5、6—定位销　4—挤压凸模　7—导板　8—切边凸模

9—挤压凹模　10—垫板　11—导向套

说明：

1）模具用于纯铝正挤压，在正挤压后进行凸缘切边。

2）正挤压时，采用挤压凸模 4 与挤压凹模 9 进行工作。挤压完成后用切边凸模 8 将挤成工件的凸缘切除。挤压凸模 4 与切边凸模 8 装在可以水平位移的凸模固定板 2 上。拔出定位销 6，拉动手柄 1，凸模固定板 2 则可以在导板 7 中滑动。当正挤压完成、上模到上死点时，抽动凸模固定板，使切边凸模 8 移至正挤压凸模的原先位置，定位销 6 插进凸模固定板 2 侧面的另一定位孔，确保切边凸模 8 与挤压凹模 9 的相对位置精度。切边凸模 8 端部的形状与挤压件方形轮廓一致，并留有合理的间隙。切边凸模 8 端部为一偏心件，当压床回程时，凸缘废料便挂在偏心凸模上，很易去除。这样重复变换凸模的位置便可连续进行生产。挤压凹模 9 采用水平分体式结构，其上端拼合缝宽度 <3mm，其余部分留缝 0.2mm，拼合面研光（$Ra=0.1\mu m$），以防止金属流入

拼合缝。

3）挤压凹模 9 下面有淬硬垫板 10。

4）导向套 11 可防止正挤压细长工件弯曲。

5）定位销 3 与 5 的作用是防止挤压凹模 9 与切边凸模 8 转动。

实例 5　夹头冷挤压模具

零件材料：3A21 防锈铝

毛坯图：图 12-5a

零件图：图 12-5b

模具结构图：图 12-5c

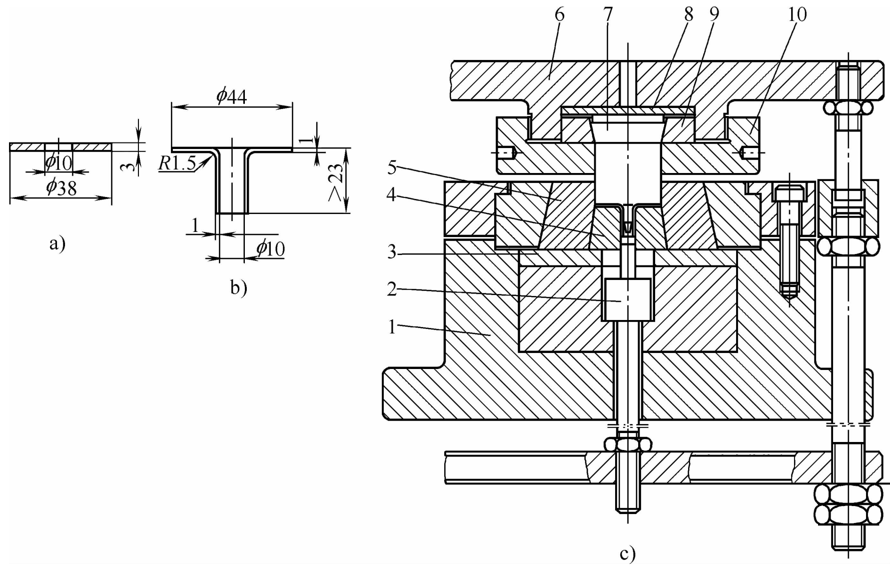


图 12-5　夹头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—下模座　2—顶杆　3—下垫板　4—凹模　5—凹模加强圈　6—上模板
7—凸模　8—上垫板　9—凸模压圈　10—凸模固定圈

说明：

1）本模具属于纯铝空心件正挤压模。

2）凹模采用纵向分体结构，由 4、5 两件组成，有利于防止凹模型腔尖角急剧变化处开裂。

3）用凸模 7 的非工作部分与凹模加强圈 5 实行导向，使其结构简单、有效。

实例 6　多层电容器冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-6a

零件图：图 12-6b

模具结构图：图 12-6c

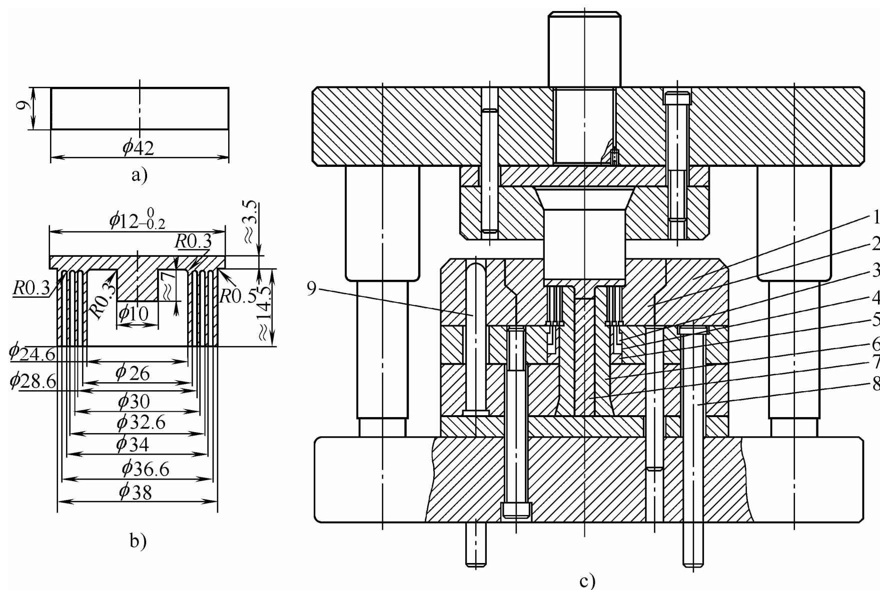


图 12-6　多层电容器冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—固定圈　2～7—凹模组合镶件　8—顶杆　9—小导柱

说明：

1）本模具用于实心毛坯正挤压成形多层电容器零件。

2）工件成形后由顶杆 8 连同凹模的件 2 及固定圈 1 一起顶出，然后再用顶出器（图 12-6c 中未表示）将工件压出。

3）凹模由件 2～7 组合而成，各圈采用一级精度轻迫配合。

4）件 2 及固定圈 1 由小导柱 9 来保证与凹模（件 3～7）的同轴度。

5）在凹模（件 3～7）的下部必须磨出一条出气槽（槽深 0.3～0.5mm），以免影响金属流动而造成废品。

实例 7　发电机水冷接头冷挤压模具

零件材料：2A12 硬铝

毛坯图：图 12-7a

零件图：图 12-7b

模具结构图：图 12-7c

说明：

1）本模具为复合挤压模，用圆柱形实心毛坯一次将下端六方形头与上端杯形件挤成。

2）模具有顶杆顶出机构与半刚性卸件板 2。

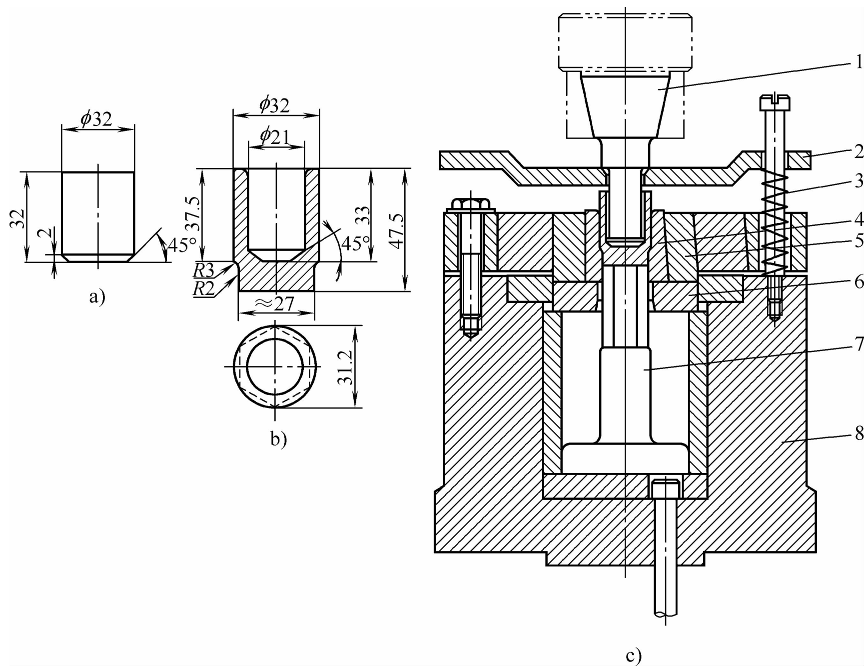


图 12-7　发电机水冷接头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—卸件板　3—弹簧　4—凹模　5—加强圈

6—垫板　7—顶杆　8—下模座

实例 8　管罩冷挤压模具

零件材料：1060 纯铝

毛坯图：图 12-8a

零件图：图 12-8b

模具结构图：图 12-8c

说明：

1）本模具属于反挤压模。在凸模 5 的压力作用下，毛坯底部产生变形，毛坯的凸缘部分（ϕ36mm）在挤压过程中向上作刚性平移。

2）如工件卡在凸模上，则用装在卸件板 2 中的卸料环 3 卸下（当卸件板 2 碰到螺母 1 时卸件）。

3）如工件卡在凹模 7 内，则由反拉杆机构通过顶杆 6 将工件顶出。

4）压簧 4 始终将卸件板 2 向上顶，便于毛坯放入。

实例 9　外罩冷挤压模具

零件材料：1200 纯铝

毛坯图：图 12-9a

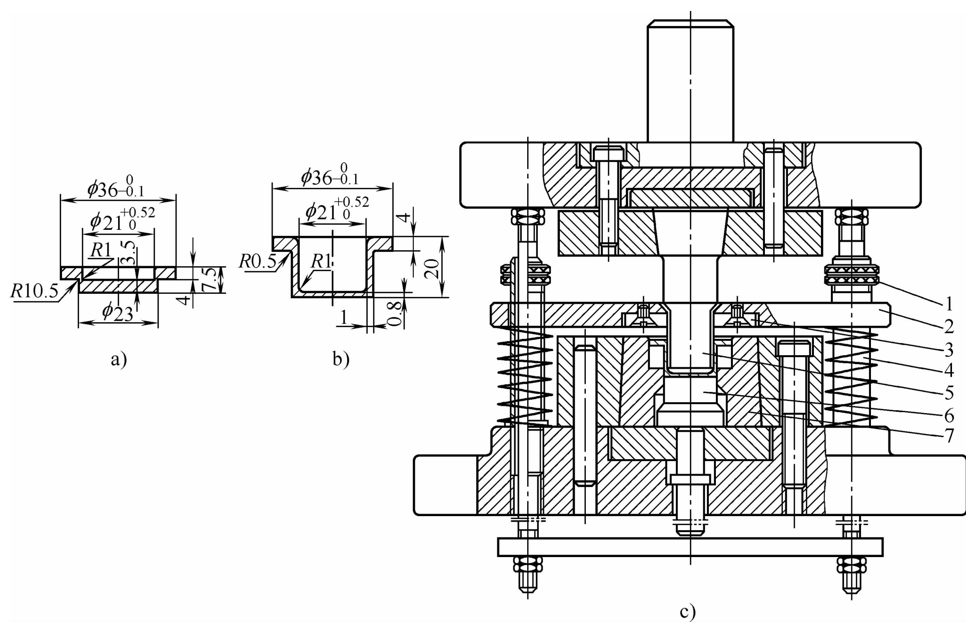


图 12-8　管罩冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—螺母　2—卸件板　3—卸料环　4—压簧　5—凸模　6—顶杆　7—凹模

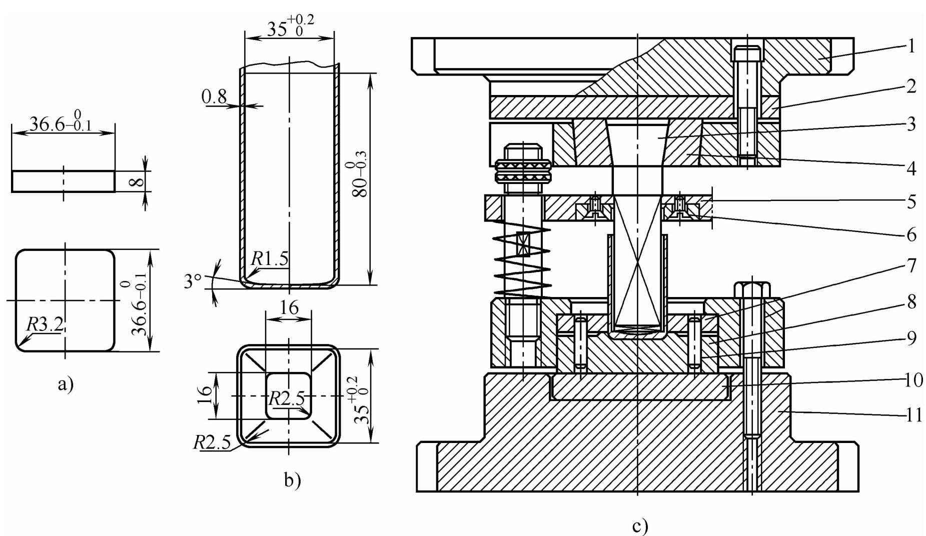


图 12-9　外罩冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—上垫板　3—凸模　4—压圈　5—卸件板　6—卸料环

7—上凹模　8—下凹模　9—销钉　10—下垫板　11—下模座

零件图：图 12-9b

模具结构图：图 12-9c

说明：

1）本模具为不用导向装置的反挤压模。

2）反挤压凹模采用水平分体结构，由 7 与 8 两件组成，两者的接合面宽度为 1～3mm，其余部分离缝 0.20mm，接合面的表面粗糙度 $Ra=0.1\mu m$，由于挤压凹模为方形型腔，为防止错移，件 7、8 采用销钉 9 定位。

3）工件不会卡在凹模内（薄壁反挤件），下模不用顶件器。

实例 10　电容器外壳冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-10a

零件图：图 12-10b

模具结构图：图 12-10c

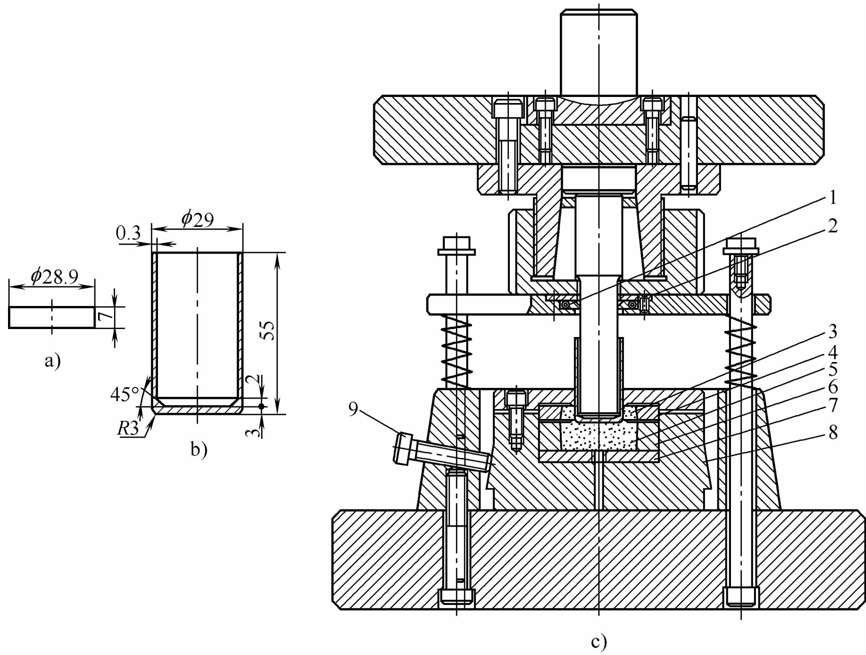


图 12-10　电容器外壳冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—卸料环　2—弹簧　3—上凹模　4—上预紧圈　5—下凹模　6—下预紧圈　7—垫板　8—凹模座　9—调节螺钉

说明：

1）本模具为无导向装置的薄壁杯形有色金属件反挤压模，应采用导向精度较高的压力机。

2）依靠调节螺钉 9 来调节凹模座 8 的位置，以保证下模与上模的同轴度。

3）反挤压凹模采用上下分体结构，由件 3、5 组成，用硬质合金 YG20 制造，外面装有预紧圈（由件 4、6 组成）。分体结构拼合缝宽度 <3mm。这种分体结构能避免凹模的开裂与下沉，使用寿命高达 400 万次。

4）凹模下面衬以淬硬垫板 7。

5）卸料环 1 分成三半，外面套有弹簧 2。

实例 11　薄壁件反挤压通用模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-11a

零件图：图 12-11b

模具结构图：图 12-11c

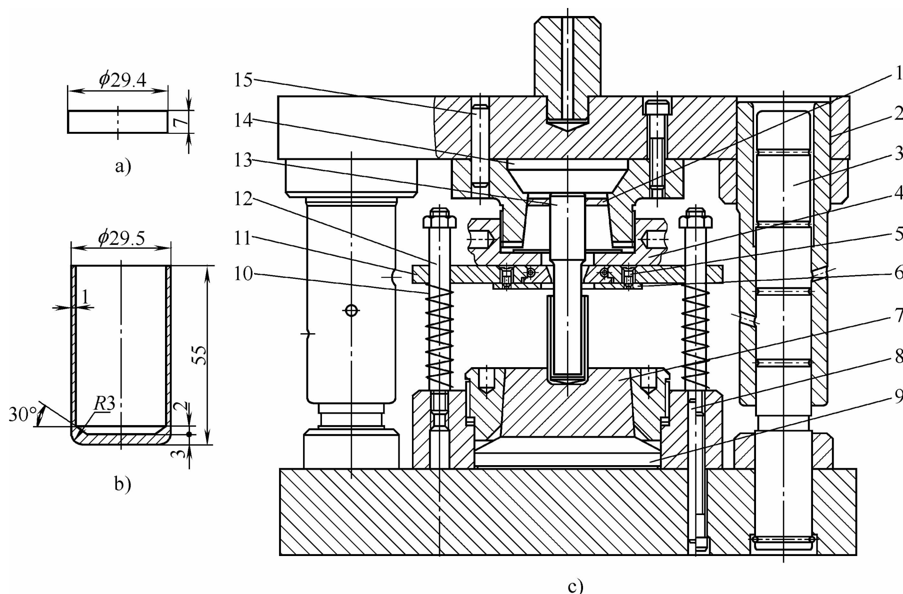


图 12-11　薄壁件反挤压通用模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—弹簧夹头　2—导套　3—导柱　4—大螺母　5—螺钉　6—卸料环　7—凹模　8、15—销钉　9、14—垫块　10—弹簧　11—卸件板　12—卸料螺钉　13—凸模

说明：

1）本模具为有色金属反挤压模，采用导柱导向，下模与上模的同轴度由制造精度来保证，并以销钉 8、15 固定。

2）凸模 13 用弹簧夹头 1 通过大螺母 4 夹紧，凹模 7 用锥面压紧固定。

3）凸模 13 上面衬以淬硬垫块 14，凹模 7 下面衬以淬硬垫块 9。

4）反挤压薄壁件一般被凸模带上，不需要下顶出装置。采用半刚性卸件装置（由

件 5、6、10、11、12 组成）将工件从凸模 13 上卸下。

5）导柱 3 与导套 2 之间采用一级精度间隙配合（本模具属于高精度模，一般精度稍差可按二级精度）。

实例 12　微型电路铝壳冷挤压模具

零件材料：1060 纯铝

毛坯图：图 12-12a

零件图：图 12-12b

模具结构图：图 12-12c

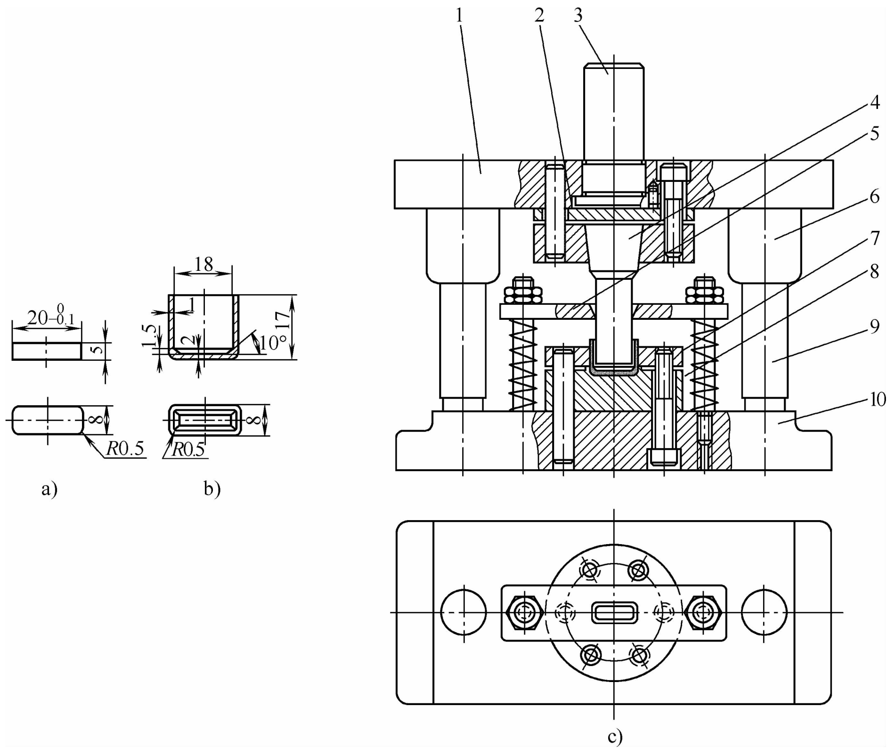


图 12-12　微型电路铝壳冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—上垫板　3—模柄　4—凸模　5—卸件板　6—导套

7—上凹模　8—下凹模　9—导柱　10—下模板

说明：

1）本模具为带有导柱导向的专用模（一模一用），属于有色金属薄壁件反挤压模。

2）凹模采用分体结构，由 7、8 两件拼合。

3）凸模 4 用锥形压套固定。

4）工件用卸件板 5 从凸模 4 上卸下。

实例 13　管壳冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-13a

零件图：图 12-13b

模具结构图：图 12-13c

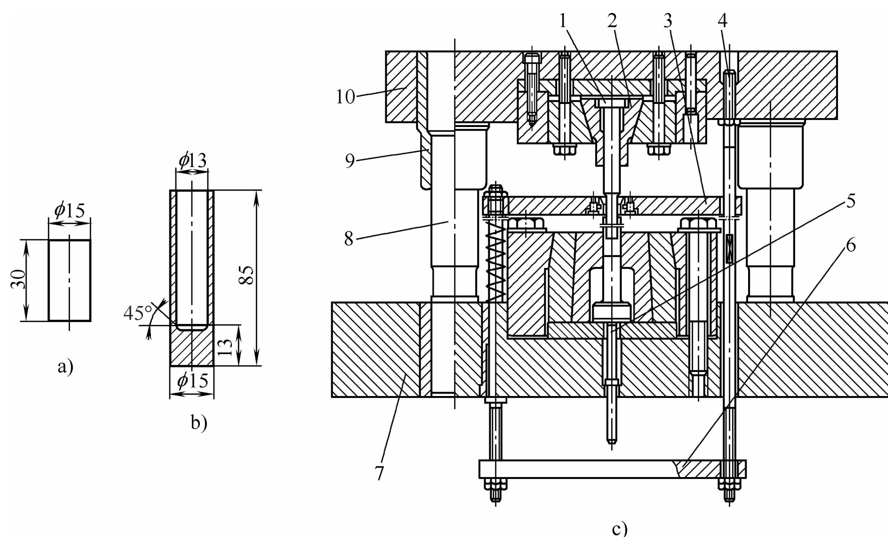


图 12-13　管壳冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—凸模外套　3—卸件板　4—拉杆　5—顶出器　6—顶板

7—下模板　8—导柱　9—导套　10—上模板

说明：

1）本模具为带有导柱导向的反挤压模。当调换凸、凹模和凸模外套 2 后亦可作为正挤压或复合挤压之用。

2）工件由卸件板 3 从凸模 1 上卸下。

3）如工件卡在凹模内，则由反拉杆机构 4、6 通过顶出器 5 将工件顶出。

实例 14　薄膜电路壳体冷挤压模具

零件材料：1070A 纯铝

毛坯图：图 12-14a

零件图：图 12-14b

模具结构图：图 12-14c

说明：

1）本模具为有色金属薄壁杯形件反挤压模具。模具用两个导柱导向，下模与上模的同轴度用四个螺钉 11 调整。

2）凸模 4 用弹簧夹头 2 通过大螺母夹紧。为防止长方形反挤压凸模的转动，在凸模 4

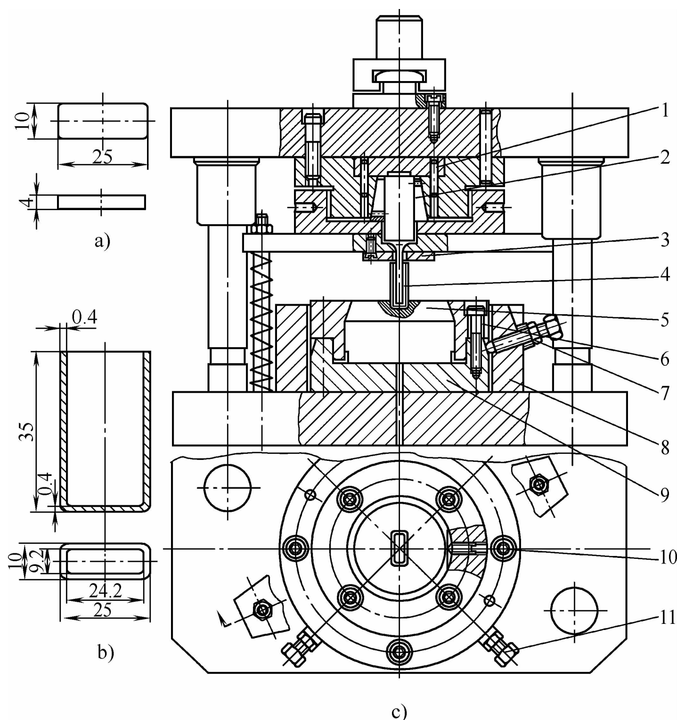


图 12-14　薄膜电路壳体冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上垫板　2—弹簧夹头　3—卸料圈　4—凸模　5—凹模　6—紧固圈　7—螺母　8—外紧固圈　9—凹模垫块　10—止动螺钉　11—调整螺钉

上端的侧面铣去两块，与凸模淬硬上垫板 1 上刨去的长方槽相配合，采用销钉定位。

3）用止动螺钉 10 防止凹模 5 在工作时的转动。凹模 5 位置的调整是用四个对称的调整螺钉 11 来实现，调整螺钉 11 旋在外紧固圈 8 上，外紧固圈 8 用销钉与螺钉固定在下模底板上。当凹模的位置调整正确后，用螺母 7 锁紧。凹模 5 的紧固是通过紧固圈 6，用内六角螺钉装在淬硬的凹模垫块 9 上来实现的。外紧固圈 8 同凹模 5 的外径以及垫块 9 的内径均采用滑动配合。垫块 9 的外端带有锥度，其主要作用是保证凹模 5 不产生轴向位移。

4）挤压件用半刚性卸料圈 3 自凸模 4 上卸下。

实例 15　大壳体冷挤压模具

零件材料：6A02 锻铝

毛坯图：图 12-15a

零件图：图 12-15b

模具结构图：图 12-15c

说明：

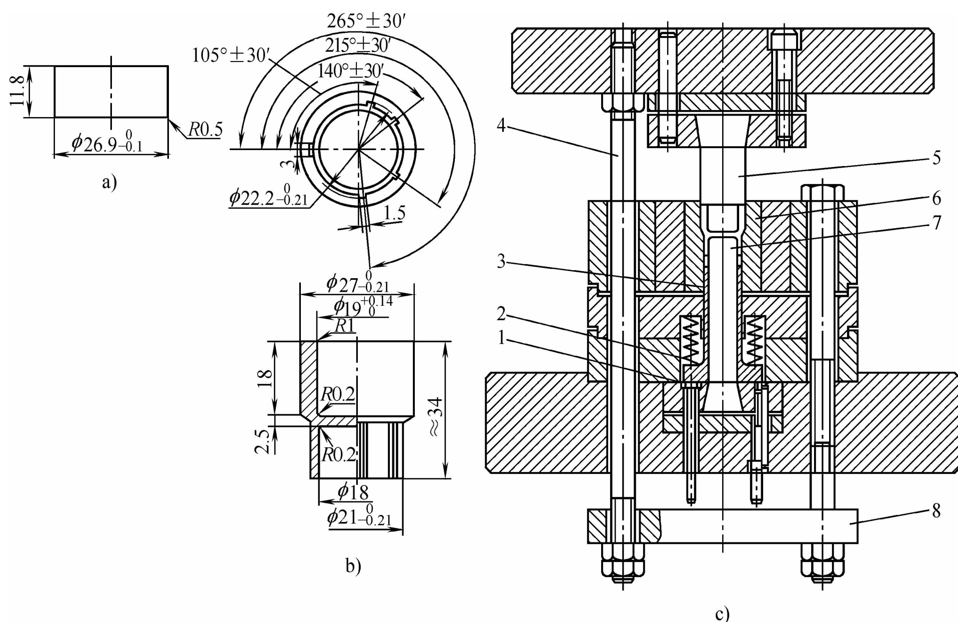


图 12-15　大壳体冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—销栓　2—弹簧　3—顶出器　4—拉杆　5—上凸模　6—凹模　7—下凸模　8—顶板

1）本模具为复合挤压模，用实心毛坯一次将上下呈杯体状的锻铝零件挤出。

2）在上凸模 5 的压力作用下，毛坯在凹模 6 内成形。同时，下凸模 7 将工件的下孔挤出。

3）当拉杆 4 向上回程时销栓 1 向上顶，推动顶出器 3 向上运动，将工件从凹模 6 内顶出。在弹簧 2 的作用下，顶出器 3 向下复位，便于放入第二个毛坯。

实例 16　航空接插件外壳冷挤压模具

零件材料：1035 纯铝

毛坯图：图 12-16a

零件图：图 12-16b

模具结构图：图 12-16c

说明：

1）本模具为复合挤压模，用实心毛坯一次将上下呈杯体状的铝质零件挤出。

2）模具结构与大壳体冷挤压模具相似，不同点在于本模具可将宽 1.2mm 的槽同时挤出。

3）通过拉杆 2、推板 8、三根销栓 7 与环形顶出器 1 将工件从凹模 5 内顶出。

实例 17　扬声器话筒接头冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

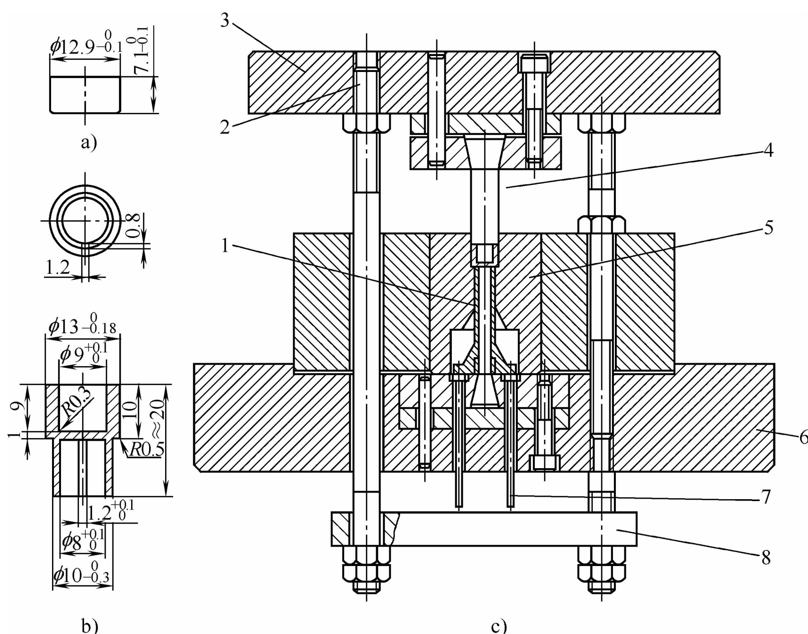


图 12-16　航空接插件外壳冷挤压模具
a）毛坯　b）零件　c）模具结构
1—环形顶出器　2—拉杆　3—上模板　4—凸模
5—凹模　6—下模板　7—销栓　8—推板

毛坯图：图 12-17a

零件图：图 12-17b

模具结构图：图 12-17c

说明：

1）本模具属可调节上下模同轴度的可调式通用模架，采用导柱导向。凹模 6 的中心可通过四个调整螺钉来调整，依靠四块弯月形板来定位，以防止工作过程中凹模移位。

2）本模架可用于正挤压、反挤压或复合挤压。

3）凸模 3 由弹簧夹头 2 通过大螺母 4 拧紧在凸模座 1 上。

4）凹模 6 采用三层预应力分体结构。

5）模具有顶出器 5 与半刚性卸料器 7。

实例 18　绳轮冷挤压模具

零件材料：1200 纯铝

毛坯图：图 12-18a

零件图：图 12-18b

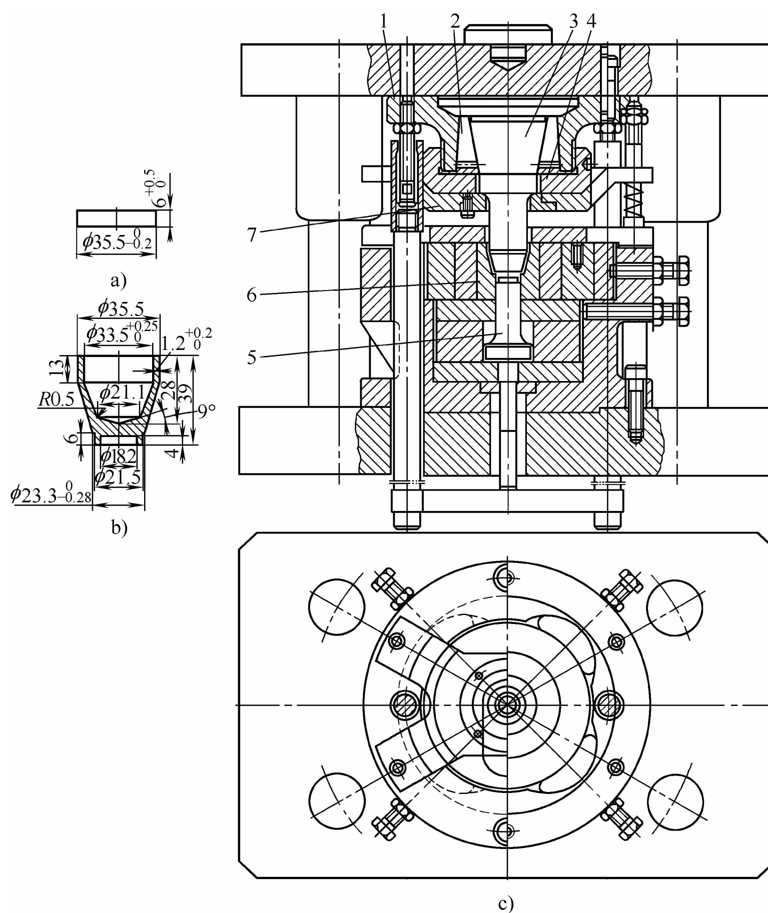


图 12-17　扬声器话筒接头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模座　2—弹簧夹头　3—凸模　4—大螺母

5—顶出器　6—凹模　7—卸料器

模具结构图：图 12-18c

说明：

1）本模具属于凹模与凸模之间的同轴度可调整的冷挤压通用模架，采用导柱导向。可在此模架上进行正挤压、反挤压与复合挤压。

2）凹模采用分体结构，提高了凹模的寿命。凸模也采用分体结构，分为凸模与芯轴两件。

3）绳轮零件采用封闭式挤压，对毛坯的质量公差要求较高。将凸模外径比凹模腔

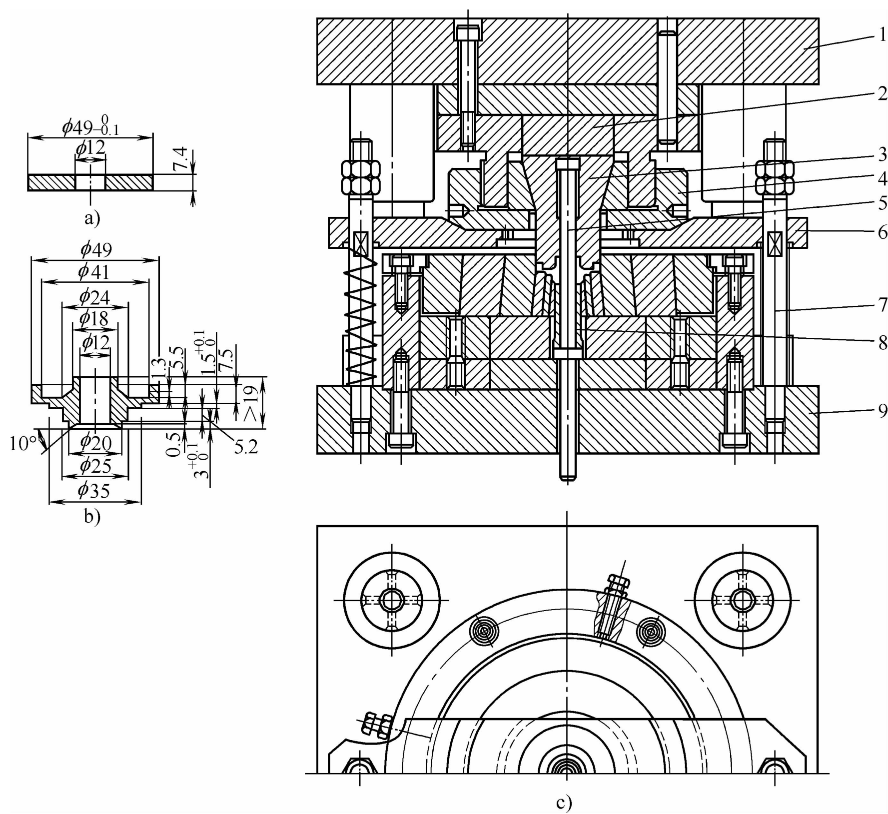


图 12-18　绳轮冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—垫块　3—凸模　4—大螺母　5—芯轴

6—卸件板　7—拉杆　8—顶出套　9—下模板

直径缩小 0. 5mm，挤压时允许留纵向飞边，可以提高模具使用寿命。

4）本模架用于反挤压与复合挤压时采用半刚性卸件器（卸件板图上已表示，卸件圈未表示）。用于正挤压时，可将半刚性卸件机构拆除。

实例 19　微型电动机转子杯冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-19a

零件图：图 12-19b

模具结构图：图 12-19c

说明：

1）本模具属于无导向的复合挤压模。

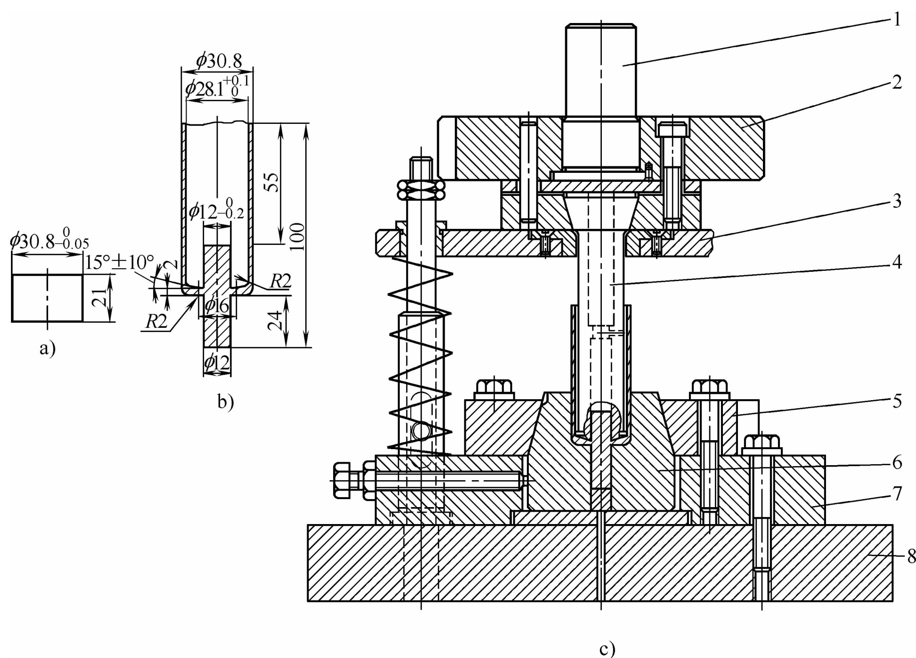


图 12-19　微型电动机转子杯冷挤压模具
a）毛坯　b）零件　c）模具结构
1—模柄　2—上模板　3—卸件板　4—凸模
5—压紧圈　6—凹模　7—垫圈　8—下模板

2）冷挤压凸模采用拼镶结构，可避免内孔应力集中、尖角处破裂。

3）工件卡在凸模 4 上，可用半刚性卸件板 3 卸下。

实例 20　轴套冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-20a

零件图：图 12-20b

模具结构图：图 12-20c

说明：

1）本模具属于空心件的复合挤压模。

2）凹模采用分体结构，由 2、3 两件组成。

3）利用弹簧 9 的推力，通过上夹板 1 和顶出杆 8 将工件顶出。

4）工件从凸模上卸下是通过调节压力机两侧打杆的位置，由卸件板 7 来实现的。

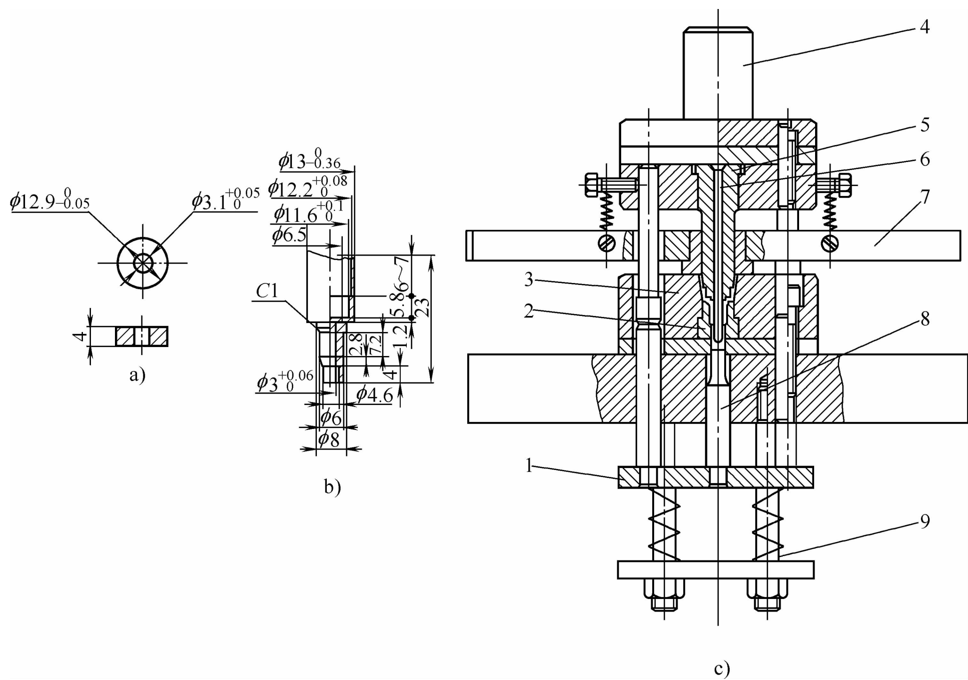


图 12-20　轴套冷挤压模具
a）毛坯　b）零件　c）模具结构
1—上夹板　2—下凹模　3—上凹模　4—模柄　5—凸模
6—芯轴　7—卸件板　8—顶出杆　9—弹簧

实例 21　转子冷挤压模具

零件材料：1060 纯铝

毛坯图：图 12-21a

零件图：图 12-21b

模具结构图：图 12-21c

说明：

1）本模具属于复杂形状零件的正挤压模。

2）为了防止凹模模芯 6 的纵向开裂，凹模套 1 应对模芯 6 施加预紧力。

3）工件挤成后通过橡胶顶出器与下顶杆 8 从凹模中顶出。当凸模 5 向下行程时推杆 3 将橡胶弹顶器压下。导向套 7 用于防止工件杆部弯曲。

4）模具装有行程限程块 2。

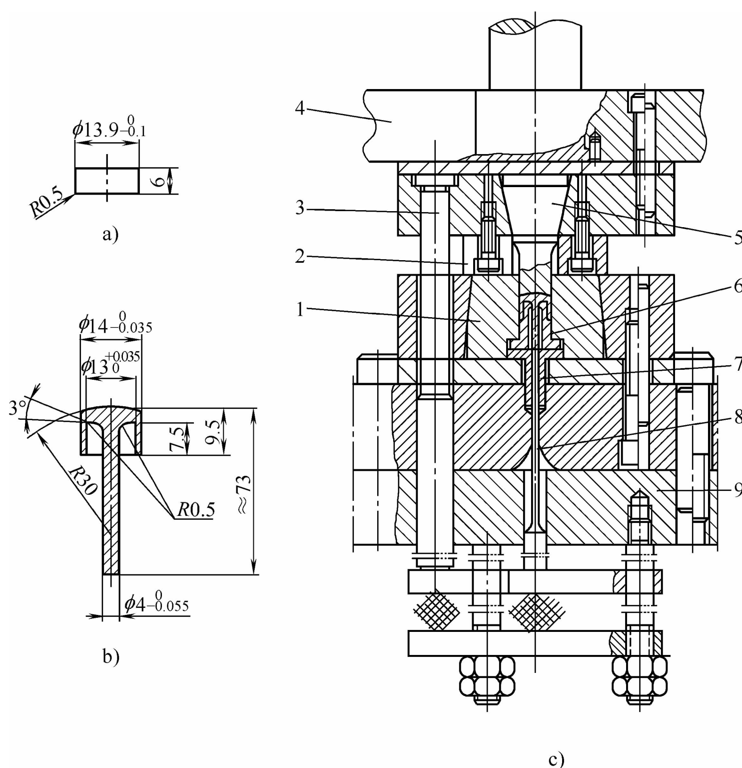


图 12-21　转子冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凹模套　2—限程块　3—推杆　4—上模板　5—凸模　6—模芯

7—导向套　8—下顶杆　9—下模板

实例 22　旋转座冷挤压模具

零件材料：3A21 防锈铝

毛坯图：图 12-22a

零件图：图 12-22b

模具结构图：图 12-22c

说明：

1）本模具属于导柱导向的有色金属复合挤压模。

2）凸模 6 的固定，通过大螺母 7 把弹簧夹头 5 压紧在凸模座 4 上。

3）卸件装置采用活动式半刚性卸件板 8。在卸件工作部分装有弹性活动式卸料环 3（分成三半）及其外圈装有小弹簧 9。因此，卸料环的内径始终能与凸模外径保持一定接触，在凸模回升时将工件卸出。卸料环 3 的内径可缩小到小于凸模外径1 ~2mm。

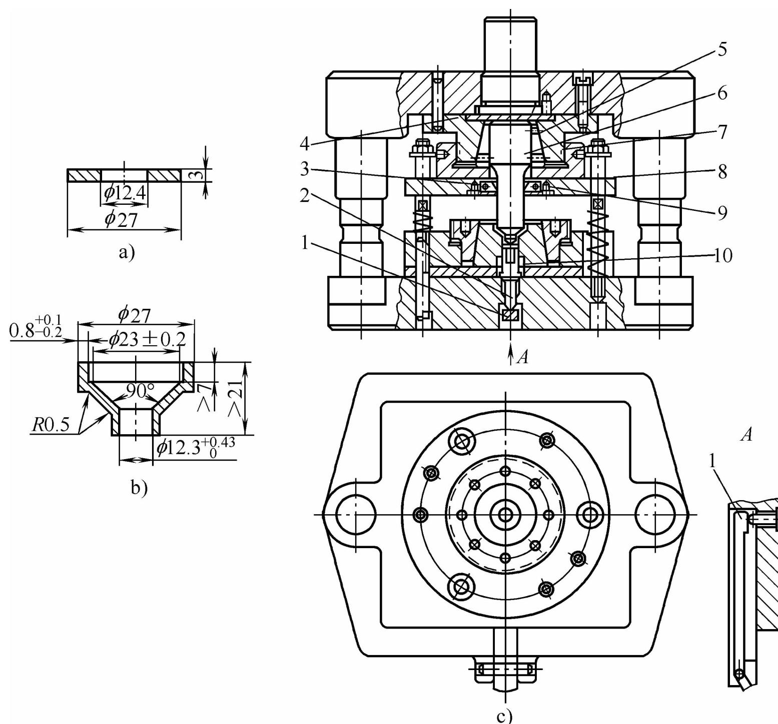


图 12-22　旋转座冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—手柄　2、10—顶出杆　3—卸料环　4—凸模座　5—弹簧夹头

6—凸模　7—大螺母　8—卸件板　9—小弹簧

4）采用手动式顶出器。以手柄 1 的一端加力，另一端通过顶出杆 2、10 将工件顶出。顶出杆 10 的中间开有出气孔。

实例 23　凸缘壳体冷挤压模具

零件材料：6A02 锻铝

毛坯图：图 12-23a

零件图：图 12-23b

模具结构图：图 12-23c

说明：

1）本模具用锻铝的实心毛坯一次将带凸缘的空心杯形件（中带连皮）挤成。

2）为了防止凸模的径向开裂和便于制造，采用分体结构，并采用分块固紧的方法。

3）顶出工件采用反拉杆 3，通过顶出板 10 和顶料杆 1（三件），再通过环形顶出套

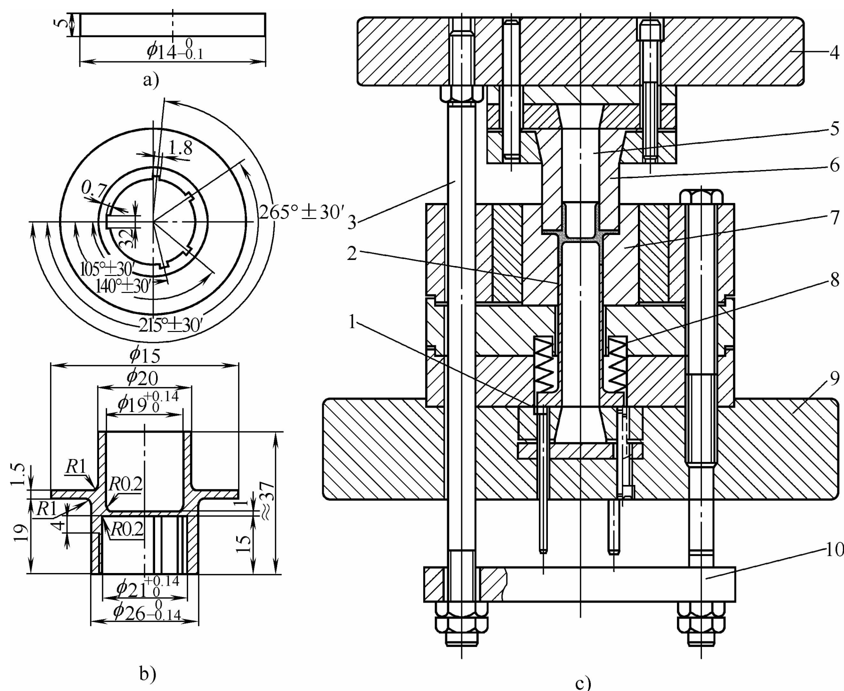


图 12-23　凸缘壳体冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—顶料杆　2—顶出套　3—反拉杆　4—上模板　5—芯轴　6—凸模

7—凹模　8—弹簧　9—下模板　10—顶出板

2 将工件顶出。

4）为了在完成一次顶出工件以后使顶出套 2 始终保持向下方向移动，以便放进第二个坯料进行挤压，故装有弹簧 8。

实例 24　加压器冷挤压模具

零件材料：3A21 防锈铝

毛坯图：图 12-24a

零件图：图 12-24b

模具结构图：图 12-24c

说明：

1）本模具属于空心件反挤压模，无导柱导向。

2）工件卡在凸模 4 上用推出块 5 打出。

3）限位套 3 能保证零件底部厚度。

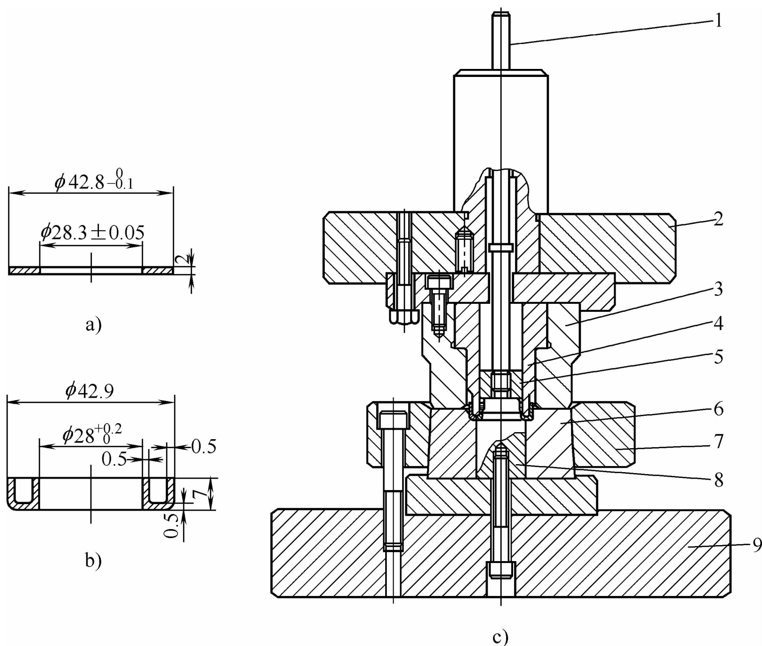


图 12-24　加压器冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—推料杆　2—上模板　3—限位套　4—凸模　5—推出块

6—凹模　7—压紧圈　8—模芯　9—下模板

实例 25　铝外罩冷挤压模具

零件材料：3A21 防锈铝

毛坯图：图 12-25a

零件图：图 12-25b

模具结构图：图 12-25c

说明：

1）本模具属于无导向的复合挤压模。

2）凹模底部采用分体拼镶结构，能提高模具寿命。

3）采用半刚性卸料环 4。

实例 26　照相机内镜筒冷挤压模具

零件材料：5A02 铝镁合金

毛坯图：图 12-26a

零件图：图 12-26b

模具结构图：图 12-26c

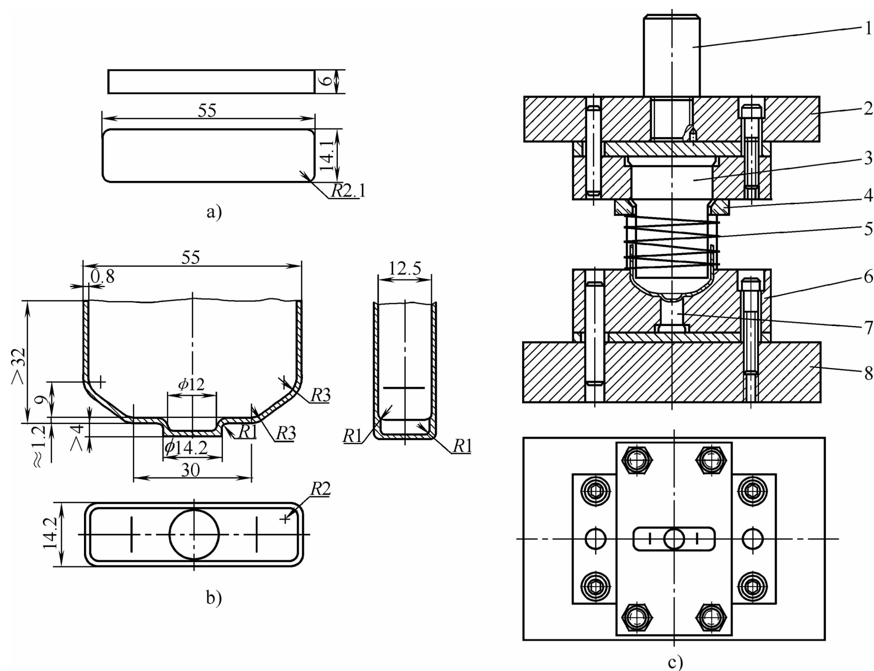


图 12-25　铝外罩冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—模柄　2—上模板　3—凸模　4—卸料环　5—弹簧　6—凹模　7—模芯　8—下模板

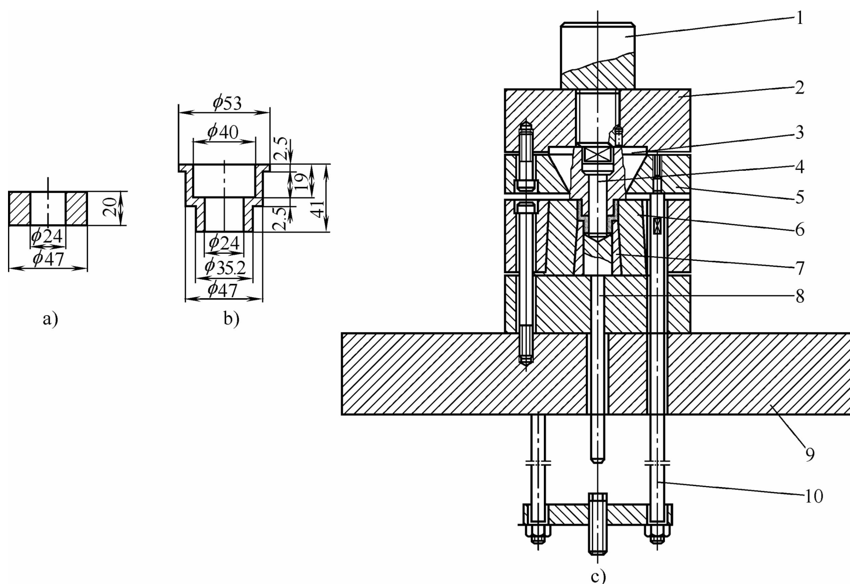


图 12-26　照相机内镜筒冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—模柄　2—上模板　3—凸模　4—芯轴　5—压紧圈　6—上凹模　7—下凹模

8—模芯　9—下模板　10—反拉杆

说明：

1）本模具为复合挤压模，在压力机行程最后将反挤部分直径镦成凸缘（ϕ53mm）。

2）凸模与凹模均采用分体拼镶结构，有利于提高模具寿命。

3）挤压成形后，通过反拉杆 10 顶出工件。

实例 27　弯角件对称冷挤压模具

零件材料：3A21 防锈铝

毛坯图：图 12-27a

零件图：图 12-27b

模具结构图：图 12-27c

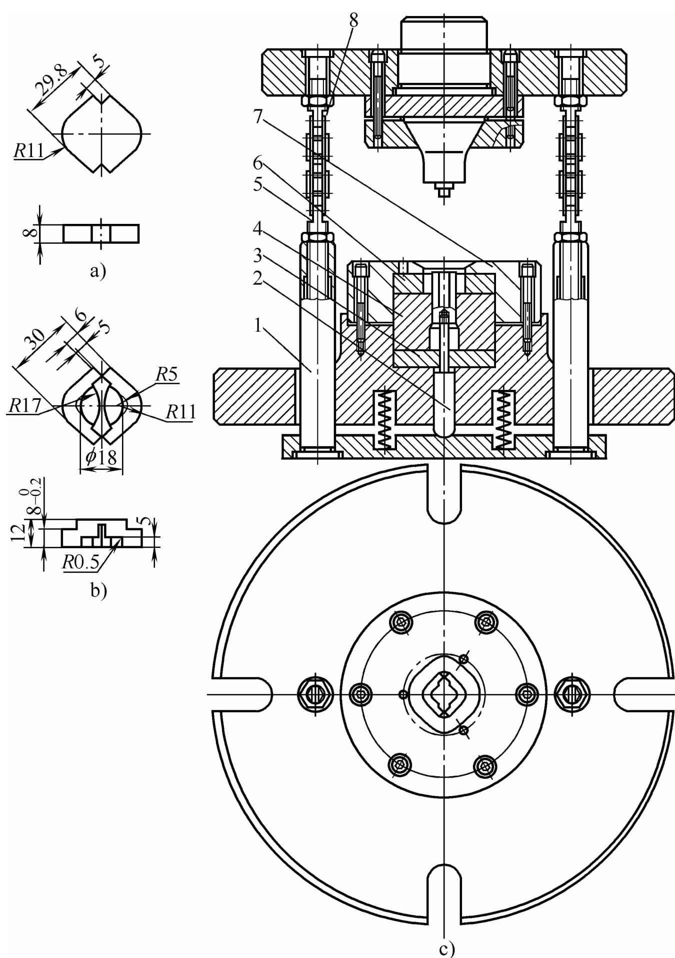


图 12-27　弯角件对称冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—反拉杆　2—顶杆　3—垫板　4—下凹模　5—螺杆

6—上凹模　7—盖板　8—链条

说明：

1）本模具属于全封闭式冷挤压模具，毛坯在封闭模型内挤压成形。全封闭式的冷挤压对毛坯质量公差的要求较高。该工件的毛坯采用板材冲压落料，易于控制毛坯的质量公差。

2）凹模盖板 7 不仅起着凹模的紧固板作用，而且还是挤压毛坯的定位器。

3）挤压件采取反拉杆机构 1，通过顶杆 2 将工件顶出。反拉杆机构的曲伸借装在螺杆 5 上的链条 8 来实现。

4）工作 8h 以后，需拆下凹模盖板 7，取出凹模 4、6 和凹模垫板 3，清除各件之间的毛刺与脏物。

实例 28　仪器箱锁门冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-28a

零件图：图 12-28b

模具结构图：图 12-28c

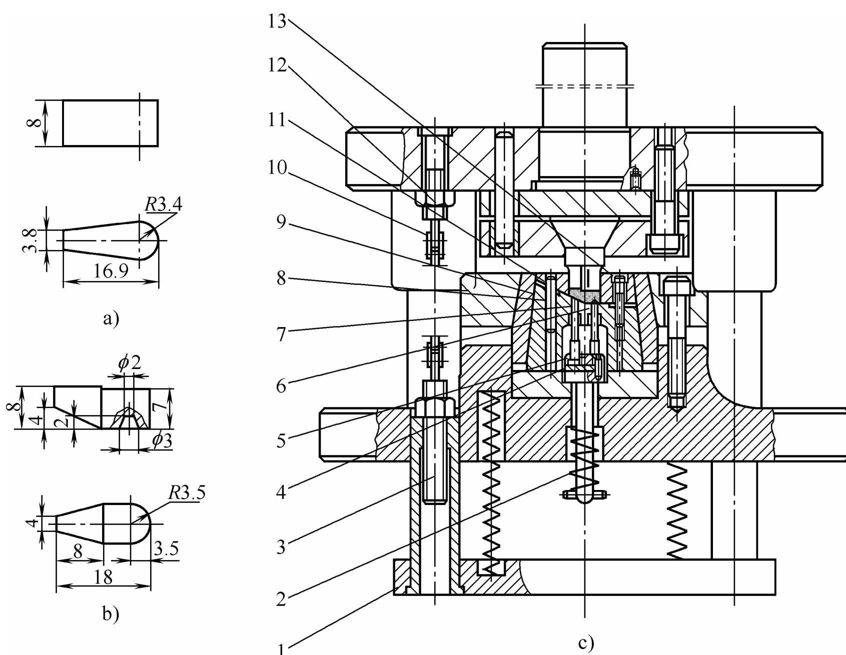


图 12-28　仪器箱锁门冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—顶板　2—顶杆　3—拉杆联接螺钉　4—垫板　5—固定板　6、7—顶出杆　8—圆销　9—下凹模　10—链条　11—上凹模　12—连接杆　13—螺钉

说明：

1）本模具属于在全封闭模腔内成形的冷挤模，采用导柱导向。

2）凹模采用分体拼镶结构，由 9、11 两件组成，用螺钉 13 与圆销 8 紧固定位。

3）工件的顶出是采用连接杆 12 通过链条 10 的另一端与拉杆联接螺钉 3 相连，并带动顶板 1，通过顶杆 2 和垫板 4，再通过顶出杆固定板 5 和顶出杆 6、7 来实现的。顶出杆 6 在成形时兼冲孔凸模用，将工件底部小孔挤出。

实例 29　铝罩冷挤压模具

零件材料：2A11 硬铝

毛坯图：图 12-29a

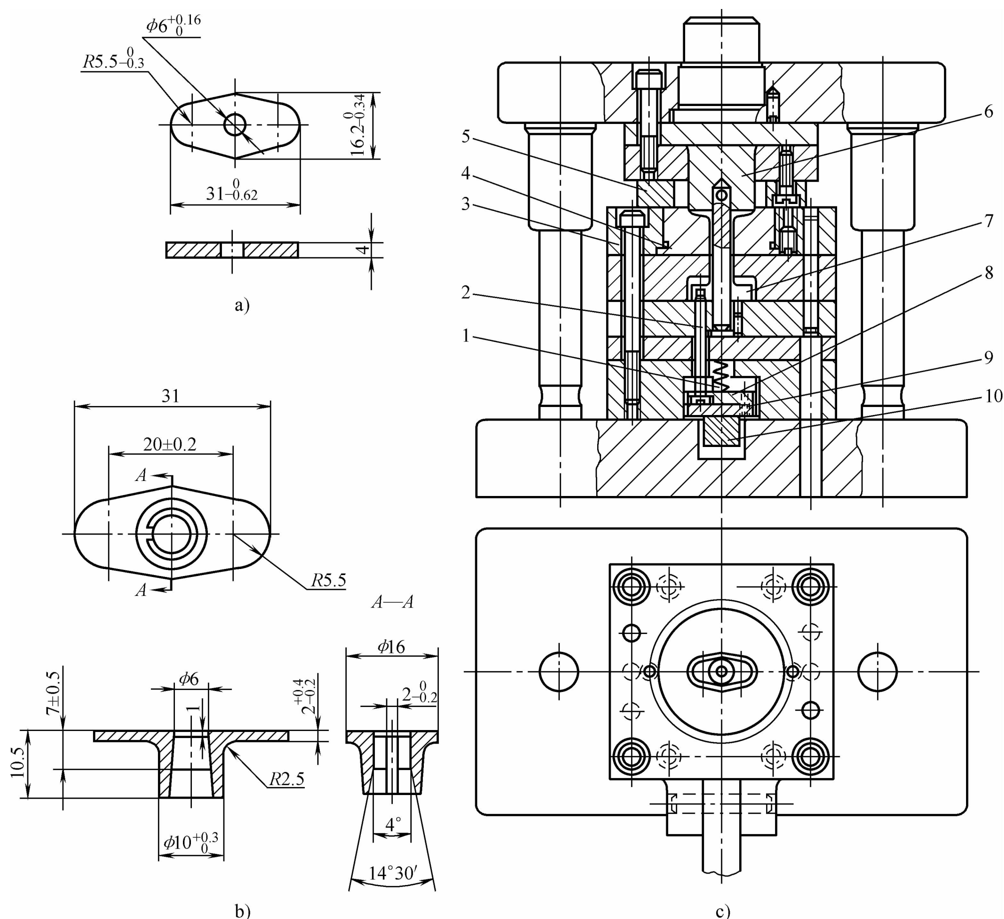


图 12-29　铝罩冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—弹簧　2—螺钉　3—压圈　4—凹模　5—限程板　6—凸模

7—顶出套　8—推板　9—盖板　10—手把

零件图：图 12-29b

模具结构图：图 12-29c

说明：

1）本模具为空心件正挤压模具，采用导柱导向。上下底板用 Q235 钢制造。

2）凹模 4 外面套有压圈 3。

3）凸模 6 中心孔的底部有径向出气孔。

4）工件的顶出是采用手动式结构，从手把 10 的一端加力，另一端与盖板 9 接触，通过推板 8、螺钉 2 推动环形顶出套 7 来实现的。

5）弹簧 1 是为了在经过一次顶出工件后，使环形顶出套 7 能始终保持向下移动，以便放进第二个毛坯进行挤压。

6）装有限程板 5，用于调整安装模具时控制深度。

实例 30　闷头冷挤压模具

零件材料：H62 黄铜

毛坯图：图 12-30a

零件图：图 12-30b

模具结构图：图 12-30c

说明：

1）本模具为复合挤压模。

2）凸模与凹模均采用分体结构。

3）用凸模 3 的工作部分与凹模 4 实行导向，使其结构简单、有效。

实例 31　高压开关方帽冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-31a

零件图：图 12-31b

模具结构图：图 12-31c

说明：

1）本模具用实心毛坯正挤成带底的空心件。

2）凸模 3 的固定部分以锥度与定位销 2 定位，不使其转动。

3）模芯（下冲孔凸模）6 通过凹模 4 压紧来固定。凹模 4 通过定位销 7 定位，以防止转动。

4）用三根顶杆 1 通过环形顶出套 5 将挤成的工件顶出。

实例 32　高压开关触头冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-32a

零件图：图 12-32b

模具结构图：图 12-32c

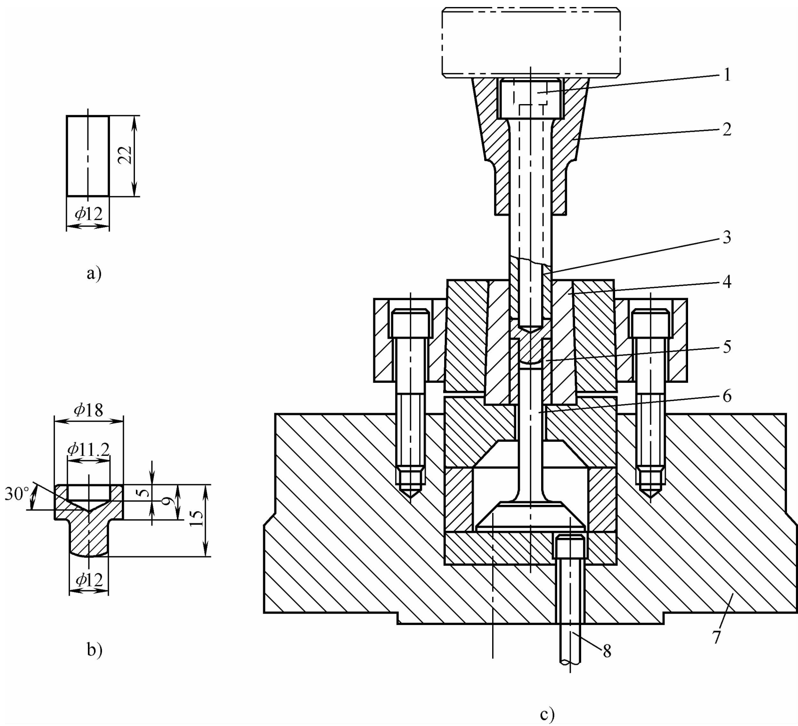


图 12-30　闷头冷挤压模具
a）毛坯　b）零件　c）模具结构
1—芯轴　2—凸模压套　3—凸模　4—凹模　5—凹模镶套　6—模芯镶块　7—下模板　8—顶杆

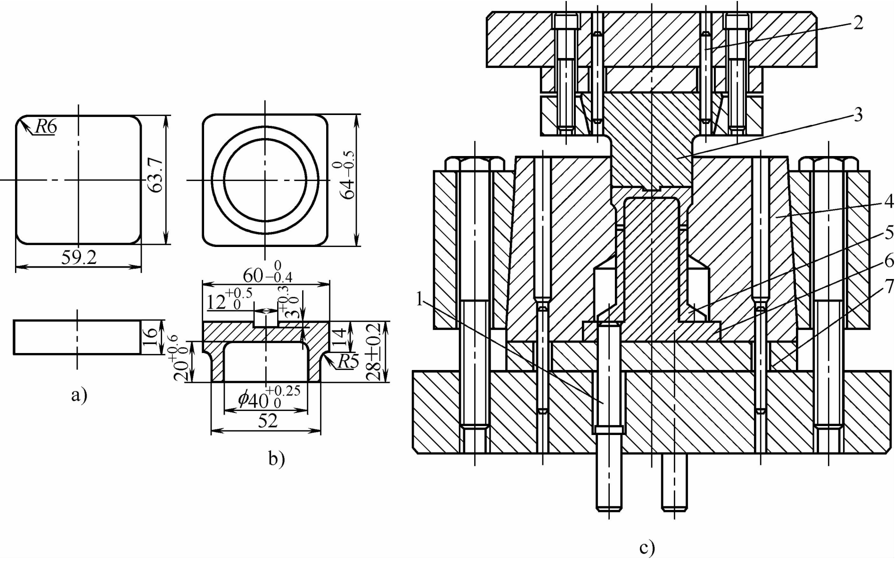


图 12-31　高压开关方帽冷挤压模具
a）毛坯　b）零件　c）模具结构
1—顶杆　2—定位销　3—凸模　4—凹模　5—顶出套　6—模芯　7—定位销

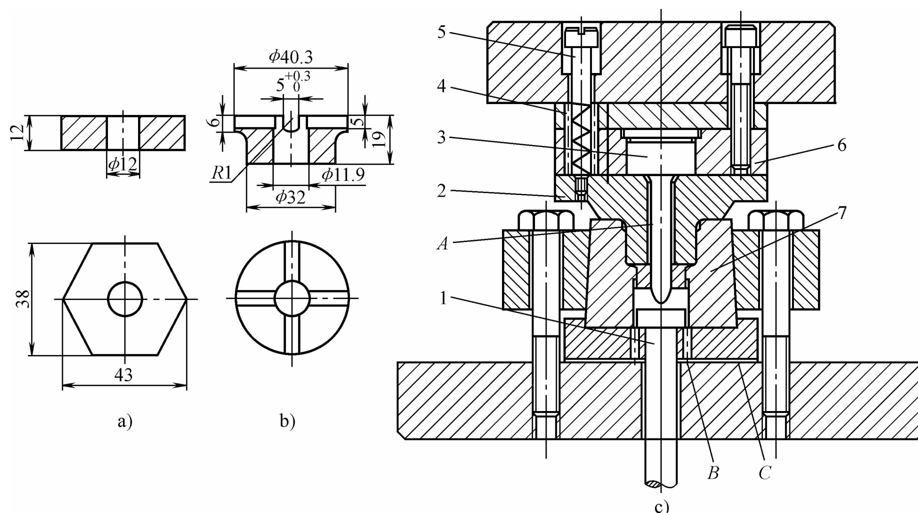


图 12-32　高压开关触头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—下顶杆　2—凸模　3—芯轴　4—弹簧　5—吊杆螺钉　6—固定板　7—凹模

A、*C*—出气槽　*B*—出气孔

说明：

1）本模具用六角外形毛坯正挤成圆形工件。采用六角毛坯主要是为了提高板料的排样利用率。六角形排样可较圆形排样提高利用率约 25%。本模具在液压机上使用。

2）凹模 7 的型腔口做成有锥度的六角形，作为定料用。

3）凸模 2 采用可动式结构，它与芯轴 3 之间采用间隙配合，并开有四条出气槽。通过弹簧 4 的作用，并以吊杆螺钉 5 吊位，能使凸模在工作时以弹性接触毛坯以便定位，到继续工作时接触固定板 6 进行挤压。当一次挤压完成后，依靠弹簧 4 的弹力复位。

4）工作完成后用下顶杆 1 将工件顶出。

实例 33　阳极筒冷挤压模具

零件材料：TU2 无氧铜

毛坯图：图 12-33a

零件图：图 12-33b

模具结构图：图 12-33c

说明：

1）本模具采用比较简易的通用模架结构形式，凸模外径直接与导套 6 导向，保证

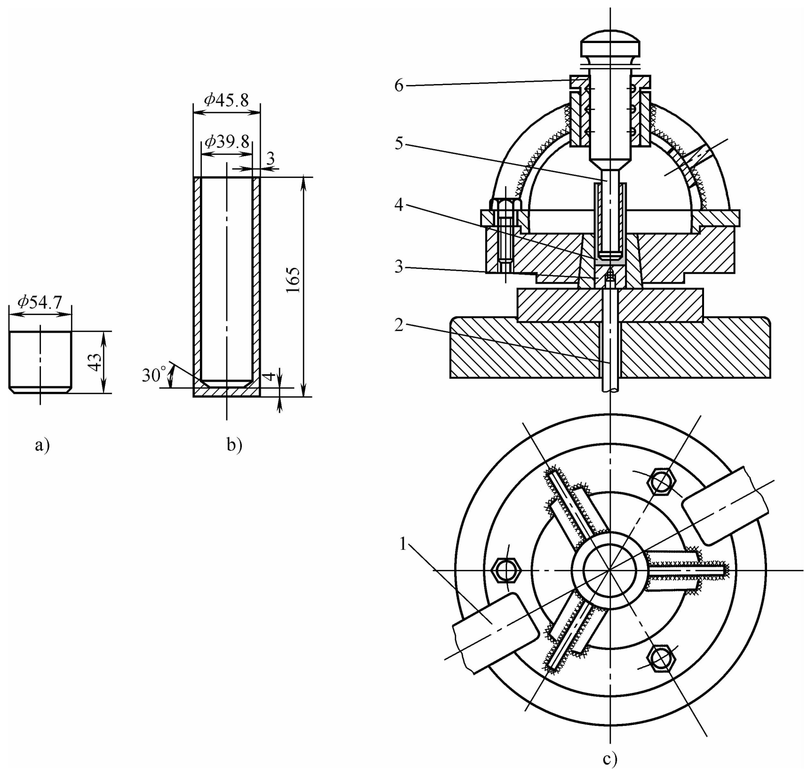


图 12-33　阳极筒冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—压板　2—顶杆　3—顶块　4—凹模　5—凸模　6—导套

凸模 5 与凹模 4 对准中心，用于在液压机上进行冷挤压。

2）通过压板 1 将下模直接与机床工作台压紧。

3）通过顶杆 2、顶块 3 将工件从凹模 4 内顶出。

实例 34　外罩冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-34a

零件图：图 12-34b

模具结构图：图 12-34c

说明：

1）本模具为有色金属薄壁杯形件反挤压模，采用导柱导向。

2）凹模采用纵向分体结构，分割成凹模 1 与凹模镶块 9。这种结构能避免凹模的开裂与下沉。在制造凹模时，凹模镶块 9 的高度应高出凹模模腔底部 0. 2mm，以补偿镶

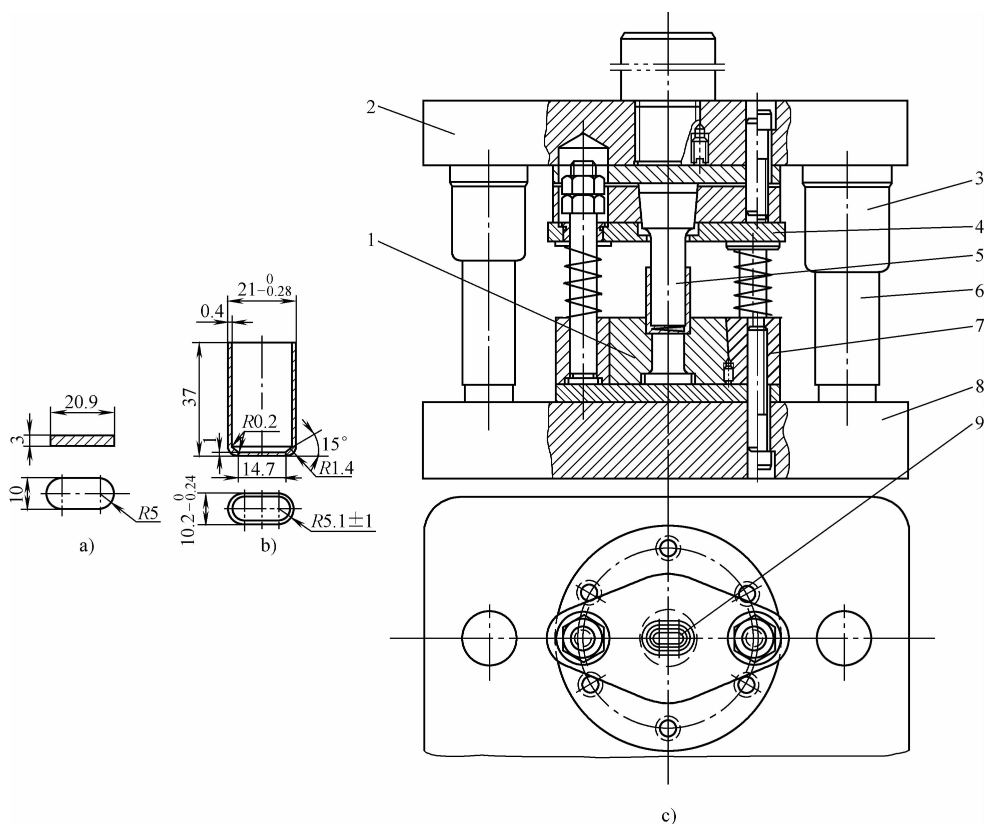


图 12-34　外罩冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凹模　2—上模板　3—导套　4—卸件板　5—凸模

6—导柱　7—压紧圈　8—下模板　9—凹模镶块

件轴向的弹性变形。

3）挤压成形后，通过卸件板 4 推下工件。

实例 35　管座冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-35a

零件图：图 12-35b

模具结构图：图 12-35c

说明：

1）本模具属于复合挤压模。凸模 4 先将毛坯正挤入凹模 6，继之进行反挤压，工件外周直纹亦同时挤成。凸模继续下压，毛坯底部逐渐变薄，已挤成的毛坯上部发生刚性平移，最后挤成带凸缘的外周直纹杯形件。

2）凹模内孔直纹用电火花方法加工。

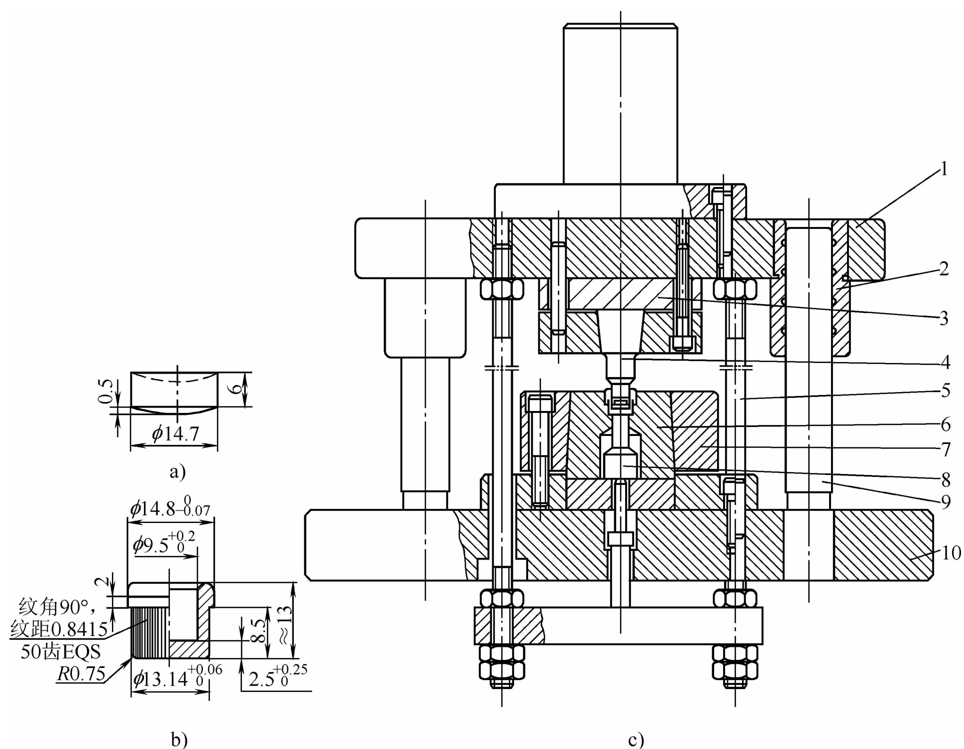


图 12-35　管座冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—导套　3—垫板　4—凸模　5—反拉杆

6—凹模　7—压紧圈　8—凹模镶块　9—导柱　10—下模板

3）凸模 4 与凹模 6 采用导柱 9 导向。

实例 36　屏蔽罩冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-36a

零件图：图 12-36b

模具结构：图 12-36c

说明：

1）本模具为反挤压模，凸模与凹模的同轴度由模架制造精度保证。

2）反挤压凹模采用上下层横向分体结构，有利于提高模具寿命。下凹模 1 的浅型腔用挤压法压出。

3）反挤压凸模 5 的上端考虑防止转动，见剖视图 *A—A*。

4）上、下垫板 6、9 均需淬硬。

5）用卸料环 8 将工件从凸模 5 上卸下。

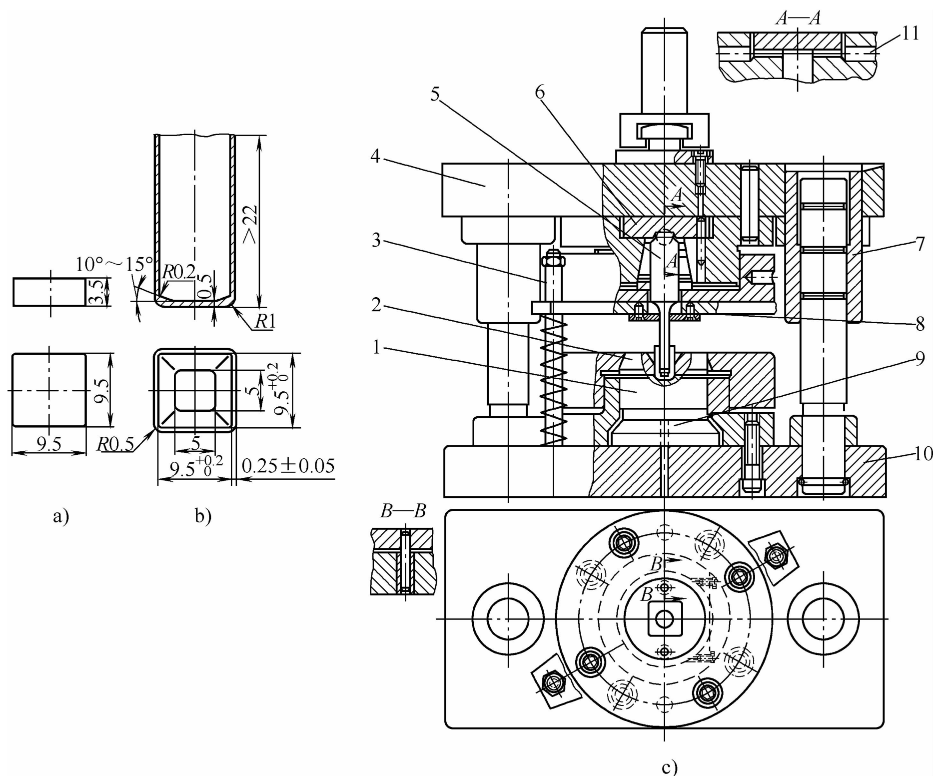


图 12-36　屏蔽罩冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—下凹模　2—上凸模　3—反拉杆　4—上模板　5—凸模

6—上垫板　7—导套　8—卸料环　9—下垫板　10—下模板　11—窥孔

实例 37　双水内冷发电机水冷接头冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-37a

零件图：图 12-37b

模具结构图：图 12-37c

说明：

1）本模具属于空心件复合挤压模，头部用反挤成形、杆部用正挤成形。

2）凹模用横向分体结构，由上、下凹模 2、3 两件组成。下凹模 3 的分割面在工件的斜面与直线接点相交处上移 3 ~ 5mm 的位置，这样可以防止金属流入接缝。上凹模 2 与下凹模 3 的直线接合面宽度为 2 ~ 3mm，接合面外作 1°斜度。

3）挤压后，为防止工件跟随凸模带上无法卸件，采用适当增加凹模工作带的长度，以使工件留在凹模内，再用顶杆 4 顶出。

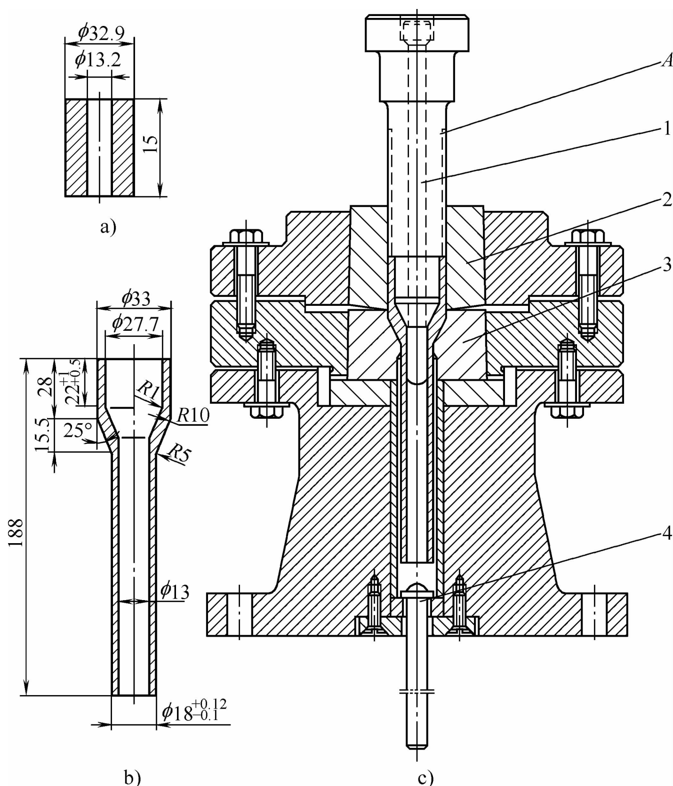


图 12-37　双水内冷发电机水冷接头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—上凹模　3—下凹模　4—顶杆　A—出气孔

4）凸模 1 的紧固及垫块在图上未表示。

实例 38　接线柱冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-38a

零件图：图 12-38b

模具结构图：图 12-38c

说明：

1）本模具为复合挤压模，采用一级精度的模架（导柱导向在图上未表示）。在上、下凹模 7、9 的压力作用下，垫圈状毛坯被挤压成形。

2）为了使挤压后工件留在上模上，在下模芯轴 8 与下凹模 9 的型腔上均制出锥度。在压机回程时，压机上的横打料杆推动件 1 与件 2，以及上模芯轴 4。同时，件 2 通过压缩弹簧推动块 3、三个圆销 5、件 6 与件 7，将工件从上凹模中推出。

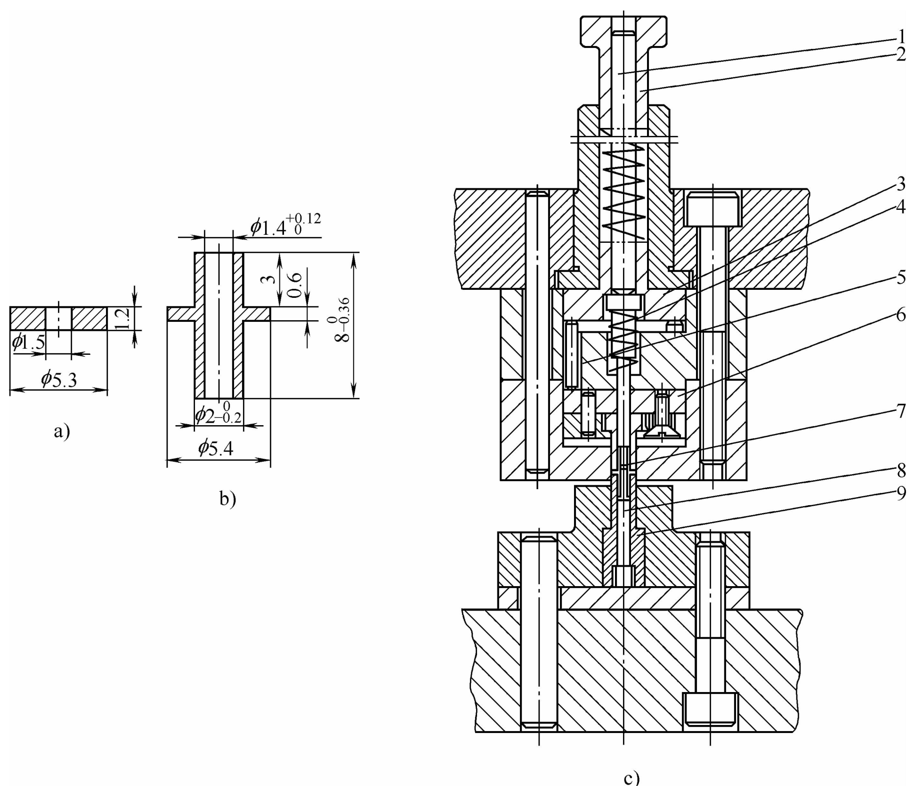


图 12-38 接线柱冷挤压模具

a）毛坯 b）零件 c）模具结构

1—打料杆 2—打料杆外套 3—推动块 4—上模芯轴

5—圆销 6—螺钉 7—上凹模 8—下模芯轴 9—下凹模

3）本模具结构紧凑，使用方便。

实例 39 晶闸管底座冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-39a

零件图：图 12-39b

模具结构图：图 12-39c

说明：

1）本模具属于复合挤压模（上模固定板未表示）。

2）凸模采用分体拼镶结构，由凸模芯轴 1 与凸模 2 两件组成。

3）用凸模 2 的工作部分与凹模 3 实行导向，使其结构简单、有效。

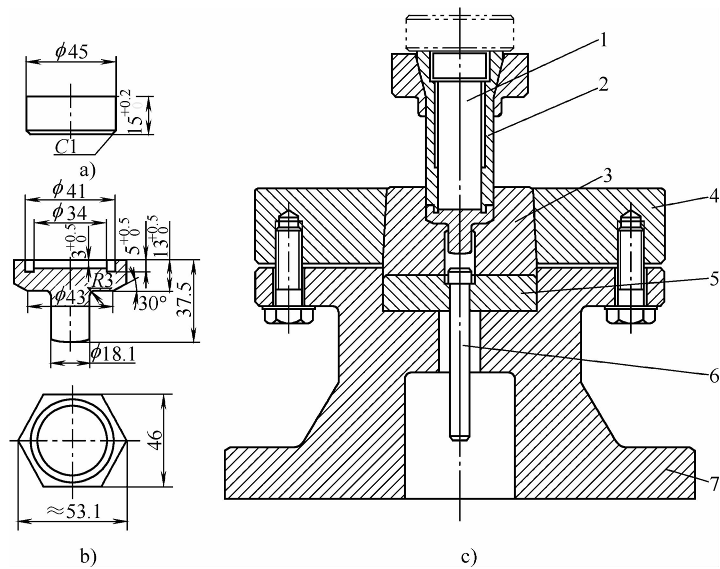


图 12-39　晶闸管底座冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模芯轴　2—凸模　3—凹模　4—压紧圈　5—垫块　6—顶杆　7—模座

实例 40　灯管铜帽冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-40a

零件图：图 12-40b

模具结构图：图 12-40c

说明：

1）本模具为带有导柱导向的复合挤压模。

2）采用弹性卸件器。由螺钉 1、卸件板 2、橡胶 3 和螺母 4 组合而成。

3）挤压成形后，通过顶杆 10 顶出工件。

实例 41　导电杆预成形件冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-41a

零件图：图 12-41b

模具结构图：图 12-41c

说明：

1）本模具为正挤压模。

2）凹模采用分体结构。由上凹模 5 和下凹模 6 两段组成。

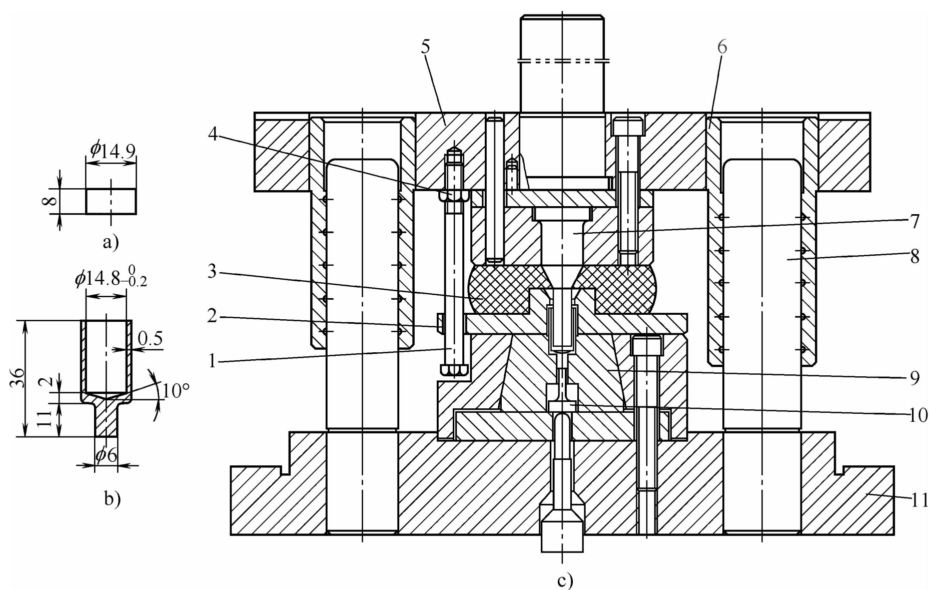


图 12-40　灯管铜帽冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—螺钉　2—卸件板　3—橡胶　4—螺母　5—上模板

6—导套　7—凸模　8—导柱　9—凹模　10—顶杆　11—下模板

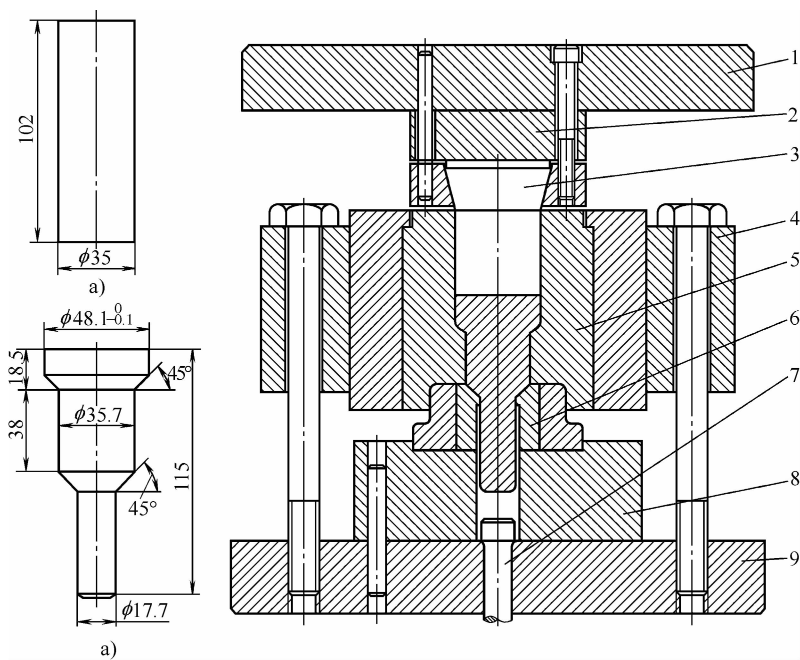


图 12-41　导电杆预成形件冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—上垫板　3—凸模　4—压紧圈　5—上凹模　6—下凹模　7—顶出杆　8—下垫板　9—下模板

3）采用顶出杆 7 将工件顶出。

实例 42　导电杆终成形件冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-42a

零件图：图 12-42b

模具结构图：图 12-42c

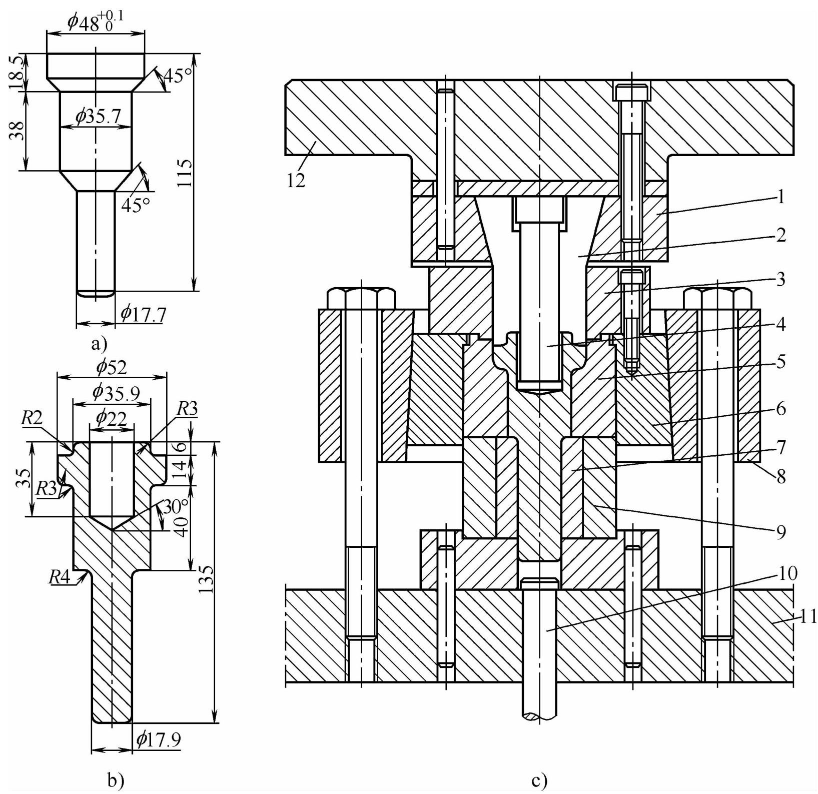


图 12-42　导电杆终成形件冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—锥形压套　2—凸模　3—导向圈　4—芯轴　5—上凹模

6—上压圈　7—下凹模　8—压紧圈　9—下压圈

10—顶出杆　11—下模板　12—上模板

说明：

1）本模具为反挤压镦头复合模。

2）凹模由上凹模 5 和下凹模 7 两件组合，外套以上压圈 6、压紧圈 8 和下压圈 9 通过预应力方式压紧。

3）上模采用分体结构，由凸模 2 和芯轴 4 组成，用锥形压套 1 固定，以导向圈 3 作为导向。

4）采用顶出杆 10 将工件顶出。

实例 43　高压开关插座冷挤压模具

零件材料：T1 纯铜

毛坯图：图 12-43a

零件图：图 12-43b

模具结构图：图 12-43c

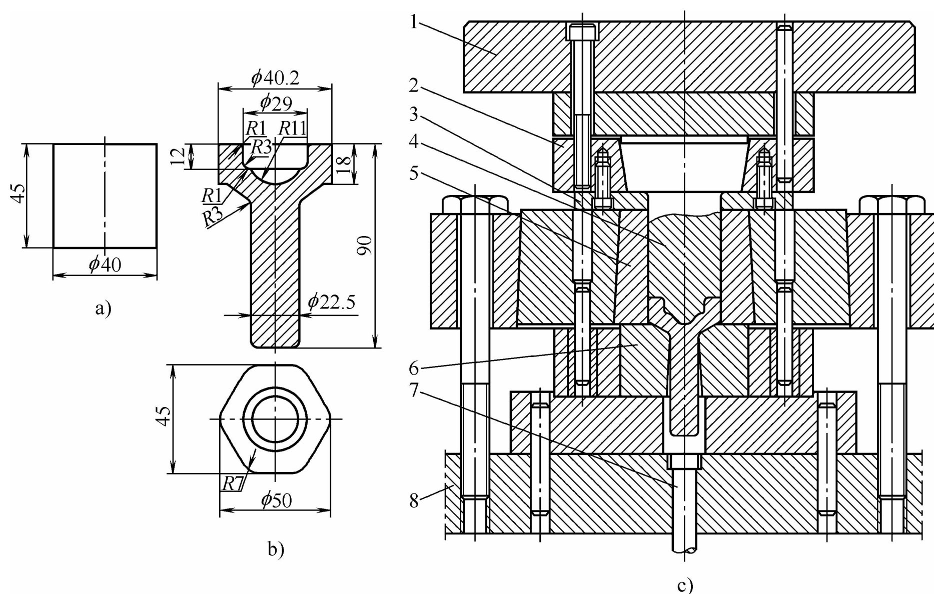


图 12-43　高压开关插座冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—锥形压板　3—限程块　4—凸模

5—上凹模　6—下凹模　7—顶出杆　8—下模板

说明：

1）本模具为镦头、正挤压、反挤压复合模。在正挤压同时将六角头镦出并进行反挤压。

2）凹模采用上下层分体结构，由上凹模 5 和下凹模 6 两件组成。

3）凸模 4 为整体结构，其固定部分采用锥形压板 2 固定。

4）采用顶出杆 7 将工件顶出。

5）模具装有行程限程块 3。

实例 44　栅极引出线冷挤压模具

零件材料：TU1 无氧铜

毛坯图：图 12-44a

零件图：图 12-44b

模具结构图：图 12-44c

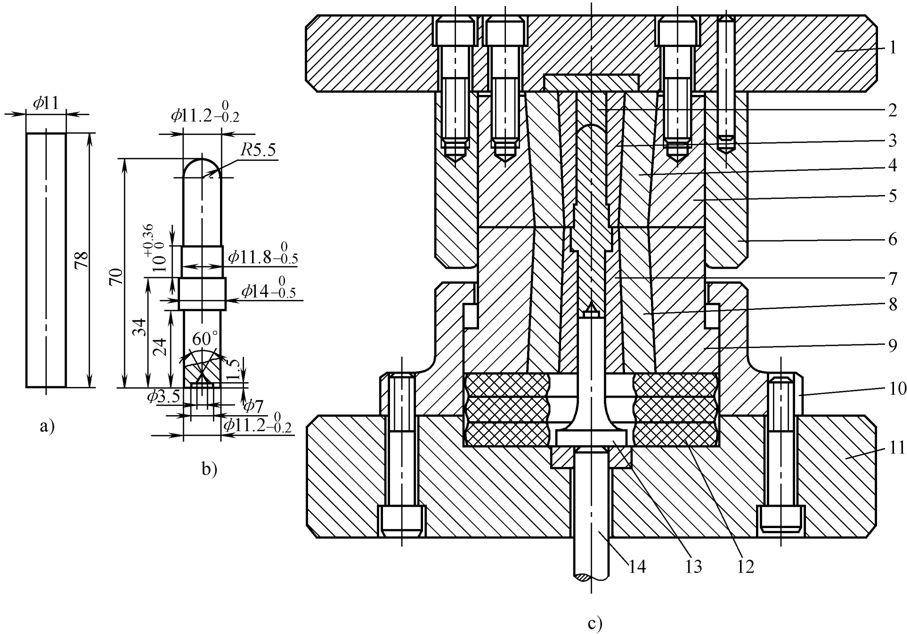


图 12-44　栅极引出线冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—上模镶块　3—上模　4—上模加强圈

5—上模压圈　6—导向圈　7—下模　8—下模加强圈

9—下模压圈　10—下模压紧圈　11—下模板

12—橡胶　13—顶杆镶块　14—顶出杆

说明：

1）本模具为液压机上冷挤模。

2）上、下模部分均采用组合凹模结构。

3）由橡胶 12 的弹力保证镦顶时上下模始终密合及下凹模的复位。

4）用导向圈 6 作为导向。

实例 45　旋钮帽冷挤压模具

零件材料；H68 黄铜

毛坯图：图 12-45a

零件图：图 12-45b

模具结构图：图 12-45c

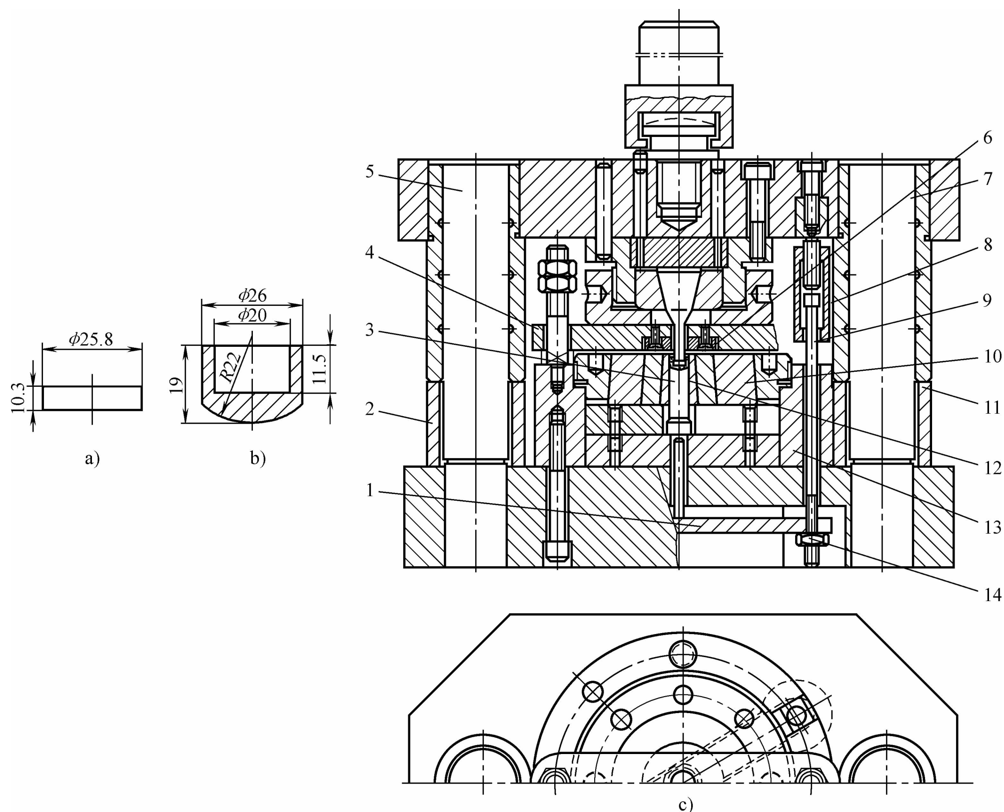


图 12-45　旋钮帽冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—顶板　2、11—限程套　3—顶杆镶块　4—卸件板　5、7—导柱　6—中圈

8—调节管　9—反拉杆　10—外圈　12—内圈　13—下压圈　14—螺母

说明：

1）本模具为通用模架，可用于正挤压、反挤压或复合挤压（图上表示的是用于反挤压）。

2）模具用导柱导向。

3）凹模采用三层组合结构，由外圈 10、中圈 6、内圈 12 组成。凹模型腔底部用顶杆镶块 3。凹模的位置精度由下压圈 13 内孔精度保证。

4）采用半刚性卸件板 4 卸件。

5）采用反拉杆机构，由件 1、8、9、14 组成，通过顶杆镶块 3 将工件顶出。调节管 8 能方便地调整顶出距离。

6）在导柱 5、7 外分别装有行程限程套 2、11。

实例 46　轴套冷挤压模具

零件材料：H62 黄铜

毛坯图：图 12-46a

零件图：图 12-46b

模具结构图：图 12-46c

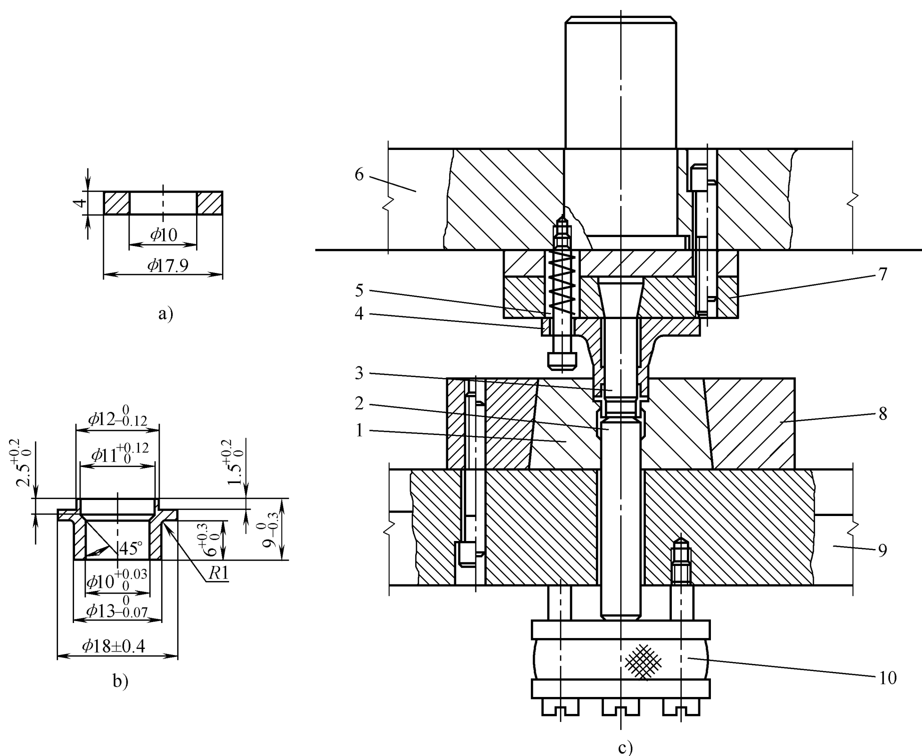


图 12-46　轴套冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凹模　2—顶杆　3—凸模　4—卸料圈　5—弹簧　6—上模板　7—凸模固定圈　8—凹模固定圈　9—下模板　10—橡胶

说明：

1）本模具为空心件复合挤压模，采用导柱导向（图上未表示）。

2）工件用弹簧 5 通过卸料圈 4（兼作成形模腔）从凸模 3 上卸下。如工件卡在凹模 1 内，则用橡胶 10 弹顶器通过顶杆 2 将工件顶出。

3）卸料圈 4 的成形模腔深度应超过工件所需高度（应深于 1.5mm），否则不易填满。

实例 47　纯铁底座冷挤压模具

零件材料：DT1 纯铁

毛坯图：图 12-47a

零件图：图 12-47b

模具结构图：图 12-47c

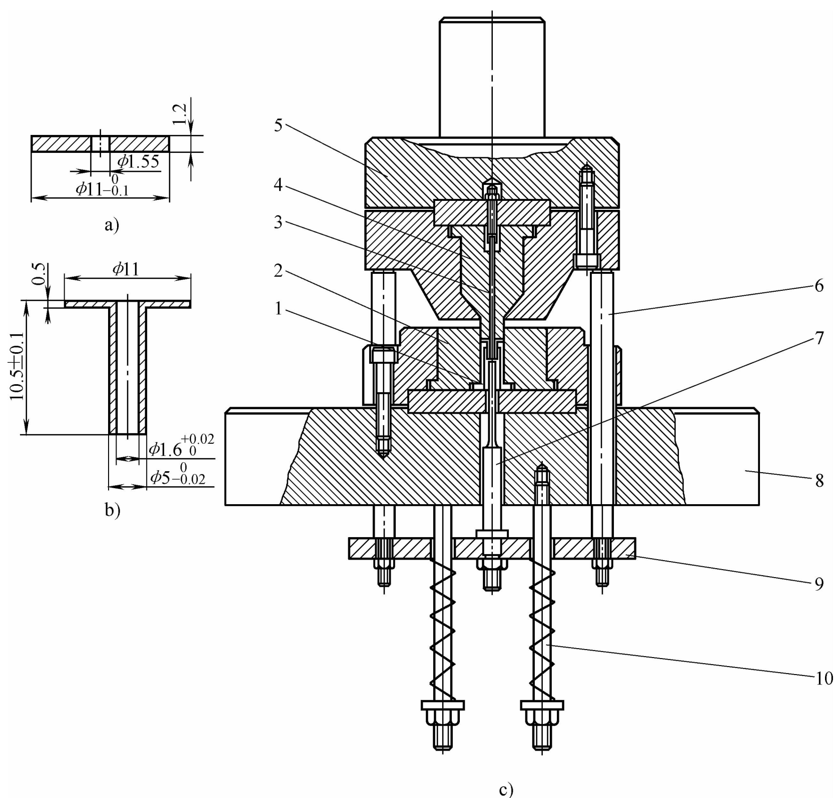


图 12-47　纯铁底座冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凹模　2—导向凹模　3—凸模　4—导向凸模　5—上模块　6—限位杆　7—顶出杆　8—下模板　9—顶板　10—弹簧

说明：

1）本模具为空心件正挤压模。

2）凹模原来采用整体结构，模具寿命仅数十次，现改用图示的纵向分体结构（由 1、2 两件组成），模具寿命提高到 20 万次。

3）凸模部分也采用分体结构（由件 3、4 组成）。

4）弹簧 10 通过顶板 9、顶出杆 7 将工件从凹模内顶出。

实例 48　钢前筒冷挤压模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-48a

零件图：图 12-48b

模具结构图：图 12-48c

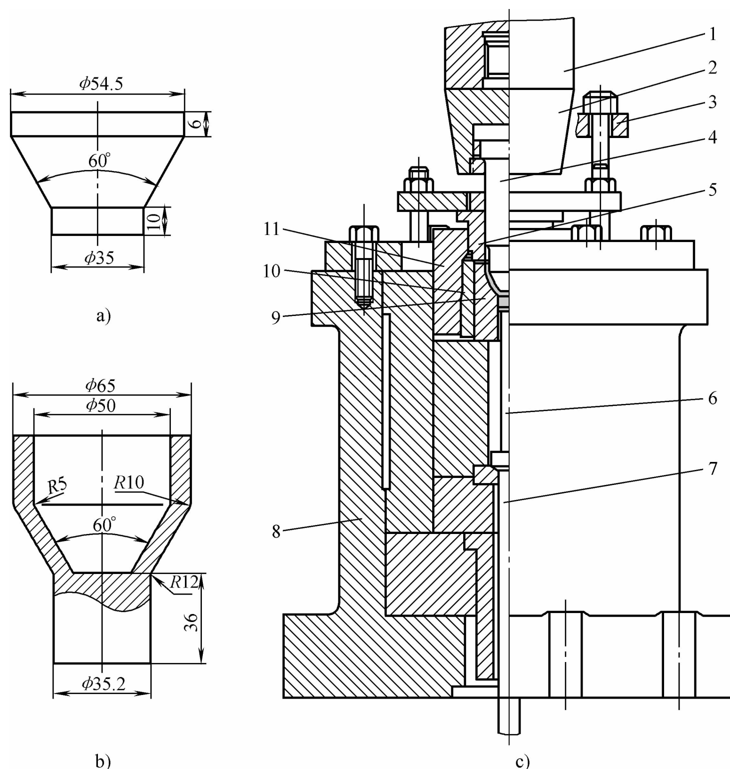


图 12-48　钢前筒冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模座　2—接头　3—卸件板　4—凸模　5—导向圈　6—顶出杆　7—顶杆　8—下模座　9—凹模　10—中圈　11—外圈

说明：

1）本模具为 5000kN 专用液压机用复合挤压模，毛坯在向下正挤的同时向上反挤成杯形。

2）模架无导柱导套，采用模口导向（凸模 4 和导向圈 5 之间采用 H6/f7 配合），导向精度较高。凸模固定在接头 2 上，接头固定在上模座 1 上。

3）由于该零件变形程度大，单位挤压力较大，凹模采用预应力结构，由三层套圈 9、10、11 组成。

4）凹模中的工件由顶杆 7 通过顶出杆 6 顶出。套在凸模上的工件由中心装有弹性

卸料圈的卸件板 3 卸下。

实例 49　刷杆冷挤压模具

零件材料：15 钢

毛坯图：图 12-49a

零件图：图 12-49b

模具结构图：图 12-49c

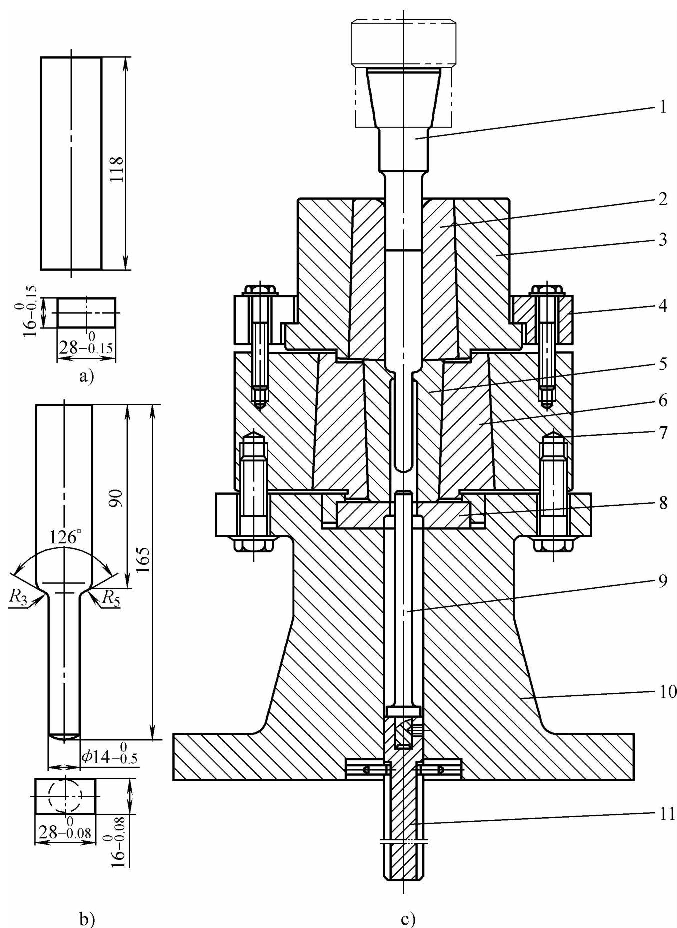


图 12-49　刷杆冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—上凹模　3—上压圈　4—上固定圈　5—下凹模　6—中圈

7—下压圈　8—下垫块　9—顶杆　10—下模座　11—顶出杆

说明：

1）本模具为实心工件正挤模（上模固定部分未表示）。

2）凹模采用横向分体结构，由上凹模 2 和下凹模 5 组成，制造方便，使用寿命高。

3）用凸模 1 的工作部分与上凹模 2 实行导向，使其结构简单、有效。

实例 50　推杆上接头冷挤压模具

零件材料：20Cr 钢

毛坯图：图 12-50a

零件图：图 12-50b

模具结构图：图 12-50c

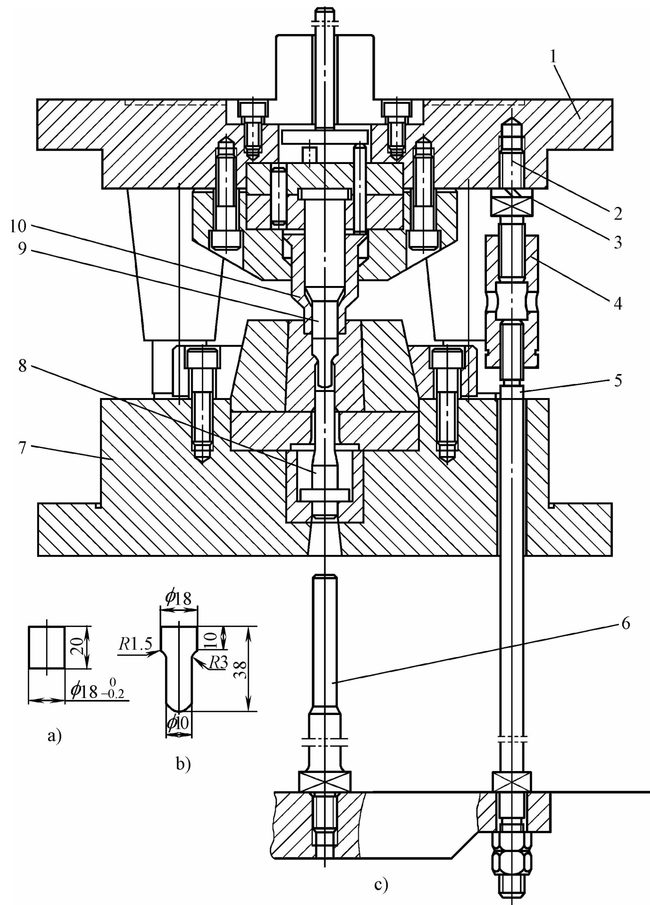


图 12-50　推杆上接头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—可调螺钉　3—垫圈　4—调节管　5—拉杆　6—顶杆

7—下模座　8—顶出杆　9—凸模　10—凸模护套

说明：

1）本模具为带有导柱导向的通用模架，适用于正挤压、反挤压与复合挤压（图上表示的是正挤压）。

2）采用可调式拉杆（由件 2 ~ 5 组成），通过顶杆 6、顶出杆 8 将工件顶出。

3）凸模 9 加有活动式凸模护套 10。在反挤压或复合挤压时，更换凸模护套 10 可作推出件用。

实例 51　自行车前钢碗冷挤压模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-51a

零件图：图 12-51b

模具结构图：图 12-51c

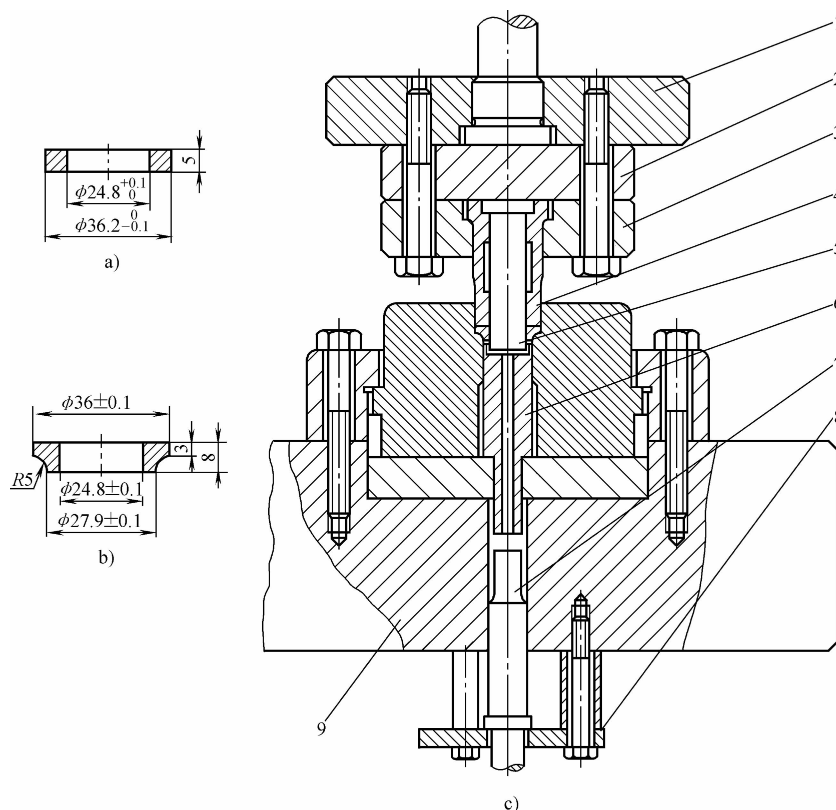


图 12-51　自行车前钢碗冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—上垫板　3—凸模固定板　4—凸模　5—芯轴

6—顶出柱　7—顶出杆　8—托料板　9—下模板

说明：

1）本模具为空心件正挤压模。

2）凸模部分采用分体结构，由凸模 4 和芯轴 5 组成。

3）顶出柱 6 开有出气孔，以便上下活动。

4）顶出杆 7 靠托料板 8 托柱，采用不同高度的顶出杆可顶出不同长度的工件。

实例 52　螺母冷挤压模具

零件材料：Q235 钢

毛坯图：图 12-52a

零件图：图 12-52b

模具结构图：图 12-52c

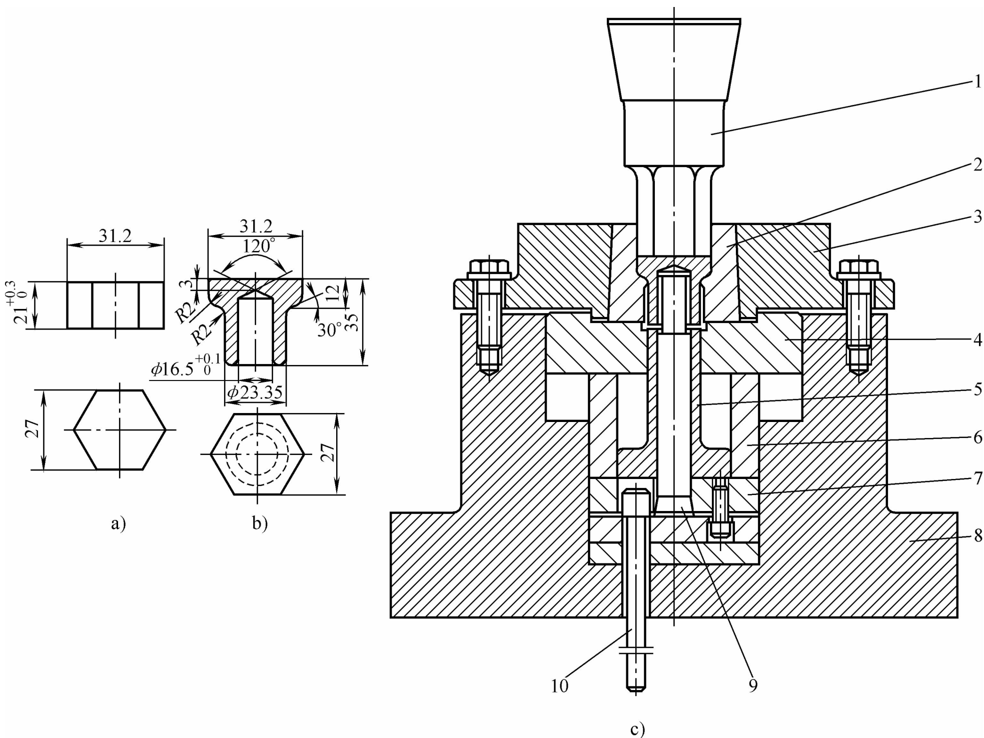


图 12-52　螺母冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—凹模　3—压紧圈　4—上垫块　5—环形顶出套　6—衬套

7—下垫块　8—下模座　9—顶杆镶块　10—顶出杆

说明：

1）本模具为正挤压模，工件的外圆与内孔同时进行挤压。

2）工件挤成后采用环形顶出套 5 顶出。

3）用凸模 1 的工作部分与凹模 2 实行导向，使其结构简单、有效。

实例 53　锥套冷挤压模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-53a

零件图：图 12-53b

模具结构图：图 12-53c

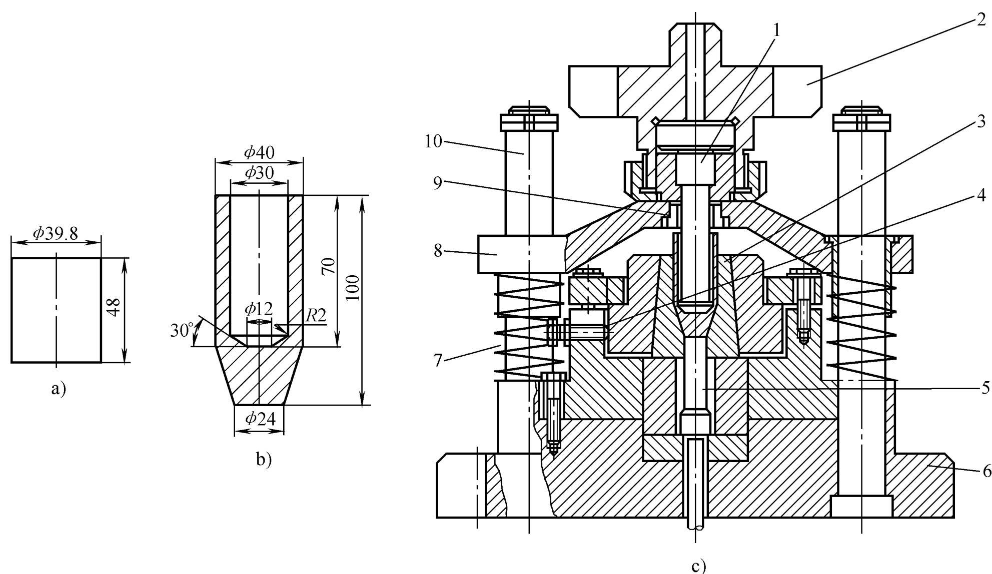


图 12-53　锥套冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—上模座　3—凹模　4—调节螺钉　5—顶出杆　6—下模座

7—弹簧　8—卸料架　9—卸料圈　10—导柱

说明：

1）本模具为无导向模架，可用于正挤压、反挤压与复合挤压。图上所示为复合挤压（毛坯首先开始向下挤成锥形，然后同时向上挤成空心杯形）。

2）采用四个调节螺钉 4 微调凹模 3 相对于凸模的同轴度。

实例 54　不锈钢外壳冷挤压模具

零件材料：12Cr18Ni9 不锈钢

毛坯图：图 12-54a

零件图：图 12-54b

模具结构图：图 12-54c

说明：

1）本模具为带有导柱导向的空心件正挤压模。

2）凸模部分采用分体结构，由凸模 2 和凸模导向套 3 两件组成，凸模 2 中心设有通气孔，以便上下活动。当凸模 2 向上碰到顶头时，凸模 2 应露出凸模导向套 3 的端面 18 ~ 18. 5mm（因第一次挤压时毛坯孔深为 18mm）。此露出长度不宜过长，否则凸模 2 会产生变薄拉深而使工件开裂；但也不能露出过短，否则将产生工件壁部局部内凹。

3）采用顶出杆 7 将工件顶出。

实例 55　夹线螺钉座冷挤压模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-55a

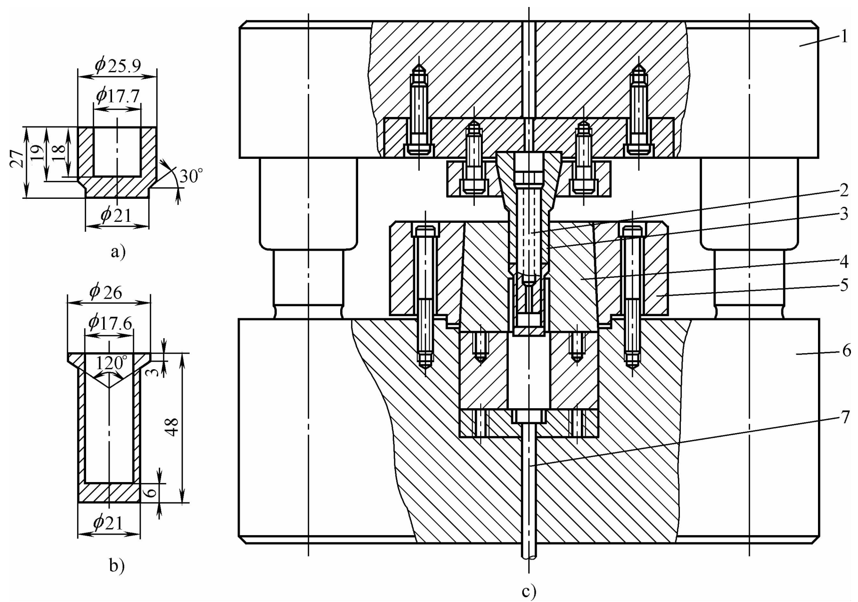


图 12-54　不锈钢外壳冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—凸模　3—凸模导向套　4—凹模　5—压紧圈　6—下模板　7—顶出杆

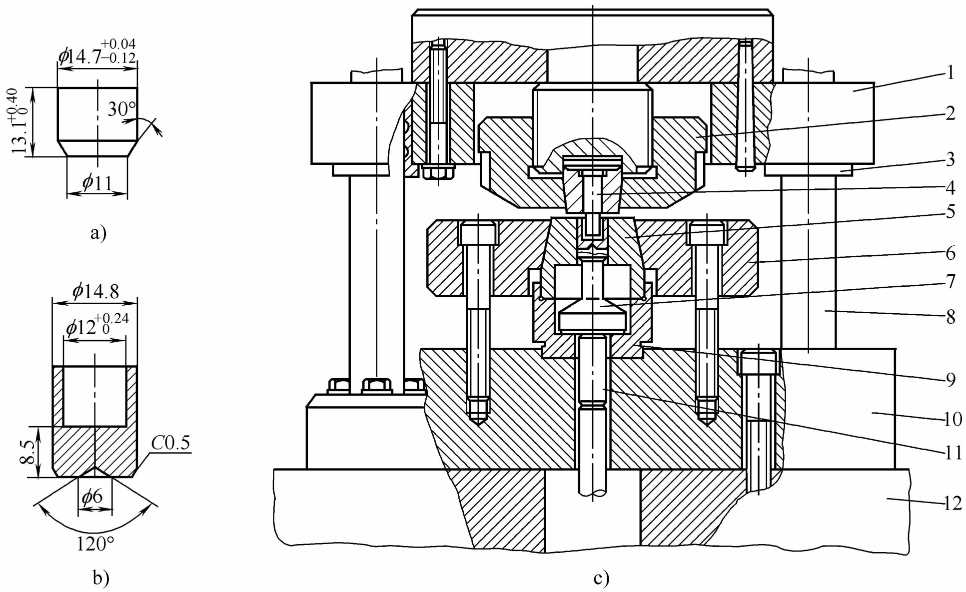


图 12-55　夹线螺钉座冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—大螺母　3—导套　4—凸模　5—凹模　6—压紧圈　7—顶杆镶杆

8—导柱　9—凹模垫板　10—中间垫板　11—顶杆　12—下模板

零件图：图 12-55b

模具结构图：图 12-55c

说明：

1）本模具为带有导柱 8 导向的反挤压模。

2）凹模 5 采用分体结构，底部型腔兼作顶出器。

3）挤压成形后，通过顶杆 11 顶出工件。

实例 56　液压件管帽冷挤压模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-56a

零件图：图 12-56b

模具结构图：图 12-56c

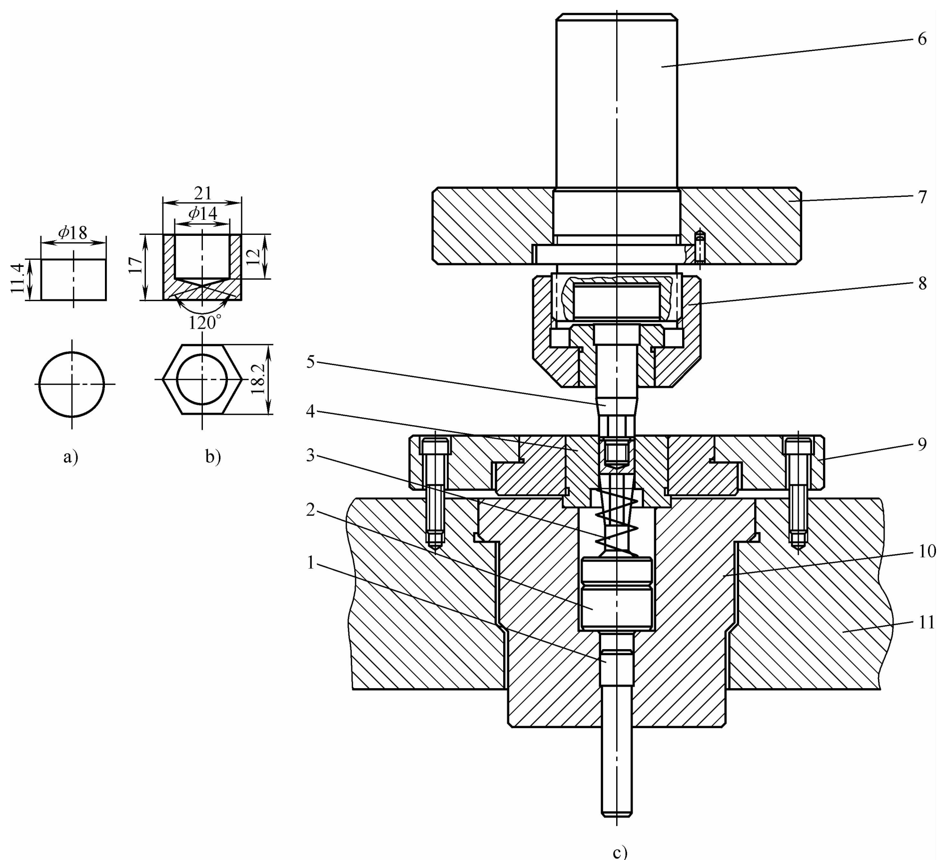


图 12-56　液压件管帽冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—顶出杆　2—顶块　3—顶杆镶块　4—凹模　5—凸模　6—模柄

7—上模板　8—大螺母　9—压紧圈　10—凹模垫座　11—下模板

说明：

1）本模具为无导向装置的反挤压模。在凸模 5 的压力作用下，圆形毛坯在六角型腔的凹模 4 内挤成工件。

2）工件挤压后通过顶出机构（由件 1、2、3 组成）从凹模 4 中顶出。

实例 57　钢碗冷挤压模具

零件材料：Q235A 钢

毛坯图：图 12-57a

零件图：图 12-57b

模具结构图：图 12-57c

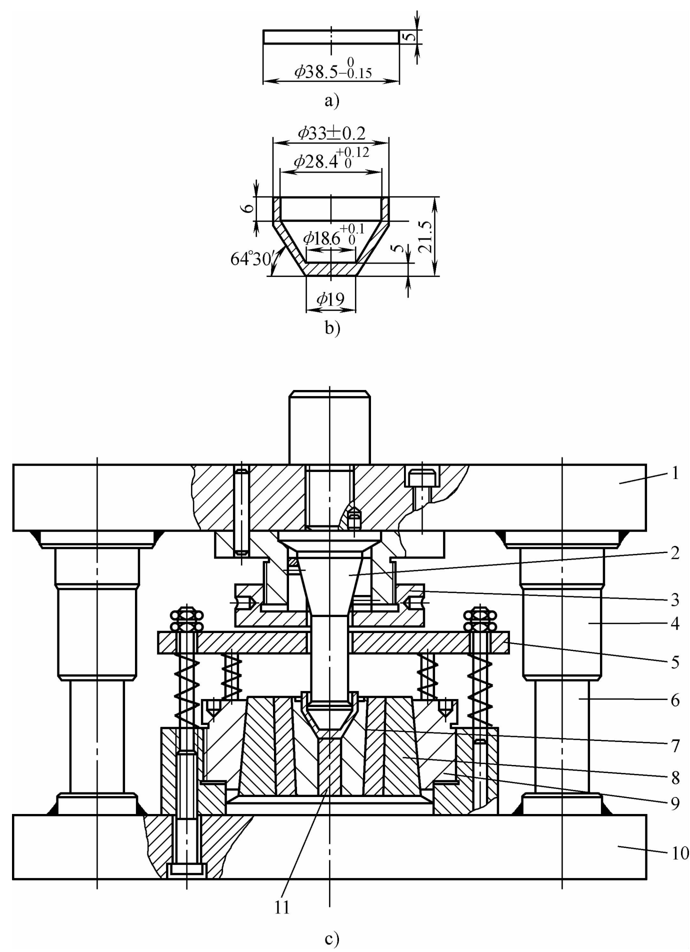


图 12-57　钢碗冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—凸模　3—大螺母　4—导套　5—卸件板　6—导柱

7—凹模　8—加强圈　9—压紧圈　10—下模板　11—底型腔镶块

说明：

1）本模具为反挤压模，采用导柱 6 导向。

2）毛坯放在凹模 7 上的定位坑内，在凸模 2 的压力作用下，先进行拉深，最后将工件反挤成形。

3）挤压成形后，通过卸件板 5 推下工件。

实例 58　汽车轮胎螺母冷挤压模具

零件材料：35 钢

毛坯图：图 12-58a

零件图：图 12-58b

模具结构图：图 12-58c

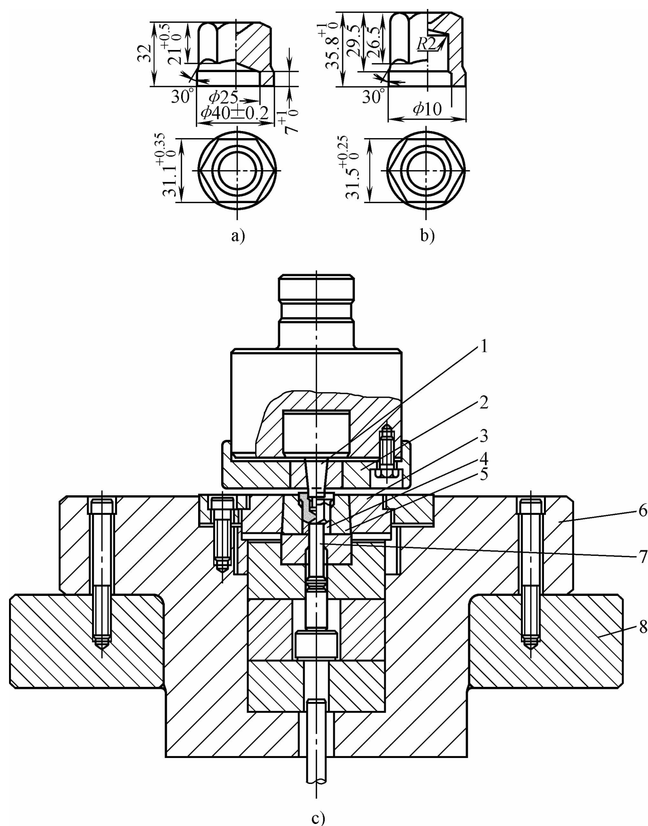


图 12-58　汽车轮胎螺母冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—凸模固定板　3—预应力圈　4—凹模镶块

5—凹模　6—凹模固定圈　7—顶杆镶块　8—下模板

说明：

1）本模具为反挤压模。

2）凹模部分由凹模镶块 4 和凹模 5 两件组成，在预应力圈 3 压合前，其间隙为 0.01mm，在压合后即成为过盈配合，使镶块的六个尖角不会崩裂。

3）凸模 1 采用锥形定位固定。

实例 59　汽车滚针轴承外套冷挤压模具

零件材料：15Mn 钢

毛坯图：图 12-59a

零件图：图 12-59b

模具结构图：图 12-59c

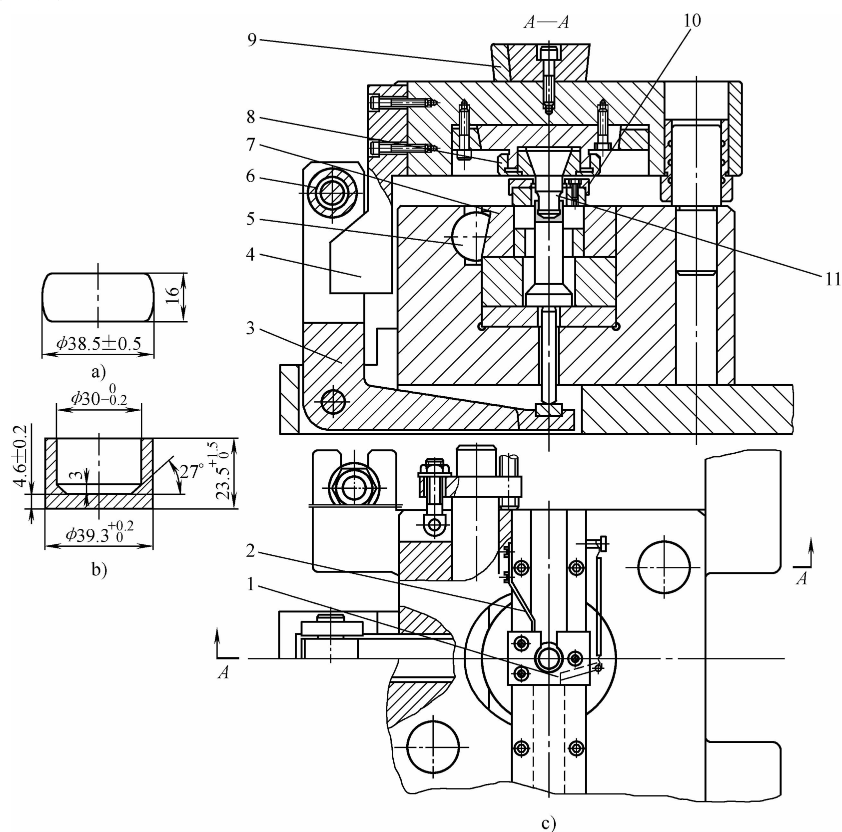


图 12-59　汽车滚针轴承外套冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—杠杆　2—弹簧片　3—直角杠杆　4—滑板　5—斜楔圆销　6—滚子

7—预应力圈　8—螺母　9—斜楔　10—卸料圈　11—凸模

说明：

1）本模具为滚针轴承外套反挤压自动送料模。

2）凸模用螺母 8 紧固。凹模套用斜楔圆销 5 紧固。凹模用硬质合金 YG20 制造，外有预应力圈 7，寿命 40 万件。整个上模座用斜楔 9 紧固在压力机的滑块上。

3）工件的顶出动作如下：当固定在上模座上的滑板 4 随上模上升时，滑板的斜面推动滚子 6、直角杠杆 3、顶出杆及顶出垫块，将挤成的工件从凹模中顶出。

4）挤压成形后，通过卸料圈 10，工件从凸模 11 上脱下。

5）图中未表示模具的自动送料部分。弹簧片 2 可防止自动进料时毛坯由于惯性而超前送料。为了防止毛坯由于累积误差，造成送料送过头，影响挤成工件的顶出，在导槽装有杠杆 1，靠弹簧将送过头的毛坯向回拨动。调整时要特别注意弹簧片 2 和弹簧力的大小。

实例 60　梭心套冷挤压模具

零件材料：Q215 钢

毛坯图：图 12-60a

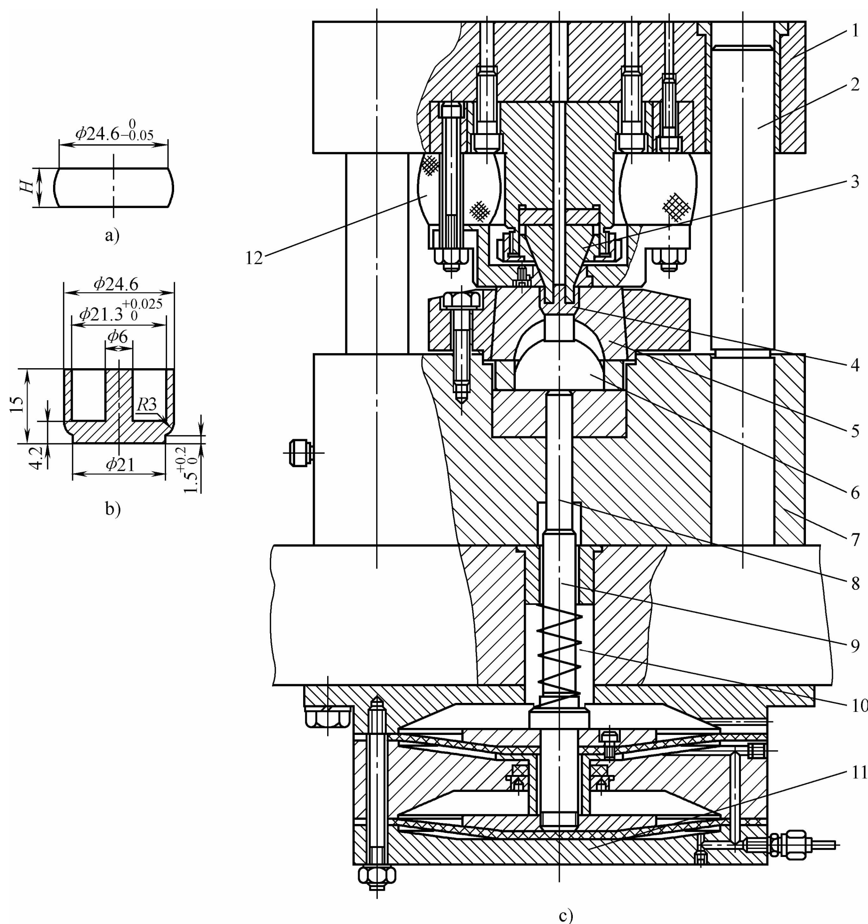


图 12-60　梭心套冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—导柱　3—凸模　4—挤压件　5—凹模　6—顶杆　7—下模板

8、9—中间顶杆　10—复位弹簧　11—气动顶出机构　12—橡胶

零件图：图 12-60b

模具结构图：图 12-60c

说明：

1）本模具为带有导柱 2 导向的模架。

2）采用橡胶 12 卸件机构。

3）用压缩空气推出工件，操作方便。

实例 61　自行车左中轴碗冷挤压模具

零件材料：Q235 钢

毛坯图：图 12-61a

零件图：图 12-61b

模具结构图：图 12-61c

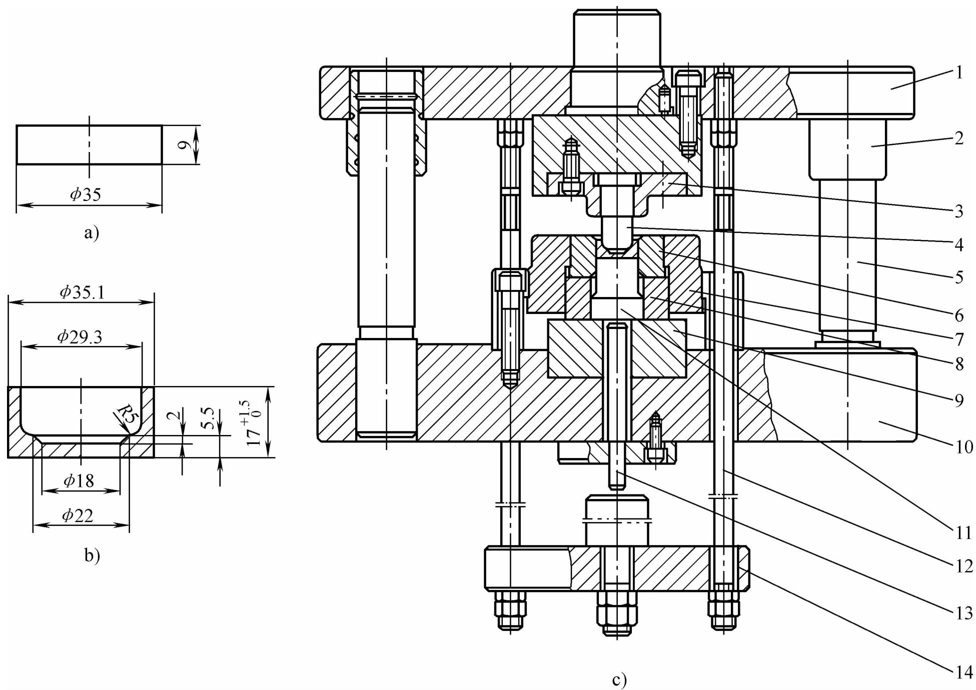


图 12-61　自行车左中轴碗冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—导套　3—凸模固定圈　4—凸模　5—导柱　6—凹模　7—压紧圈　8、9—垫块　10—下模板　11—顶杆镶块　12—反拉杆　13—顶出杆　14—顶板

说明：

1）本模具为带有导柱 5 导向的反挤压模。

2）用反拉杆机构顶出工件。

实例 62　螺母复合挤压模具

零件材料：Q235 钢

毛坯图：图 12-62a

零件图：图 12-62b

模具结构图：图 12-62c

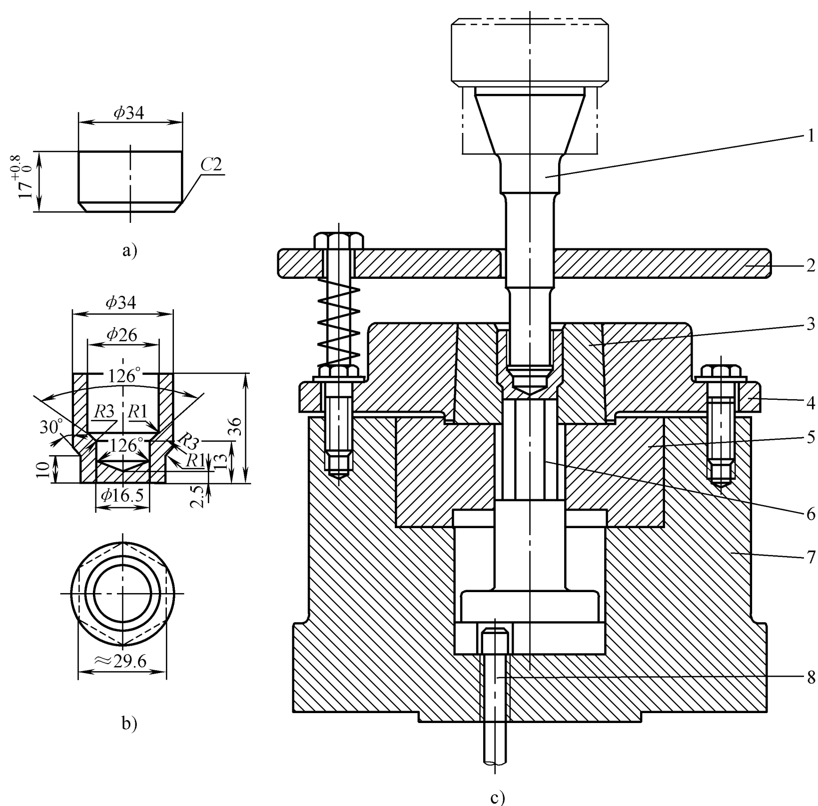


图 12-62　螺母复合挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—卸件板　3—凹模　4—压紧圈　5—垫块

6—顶杆镶块　7—凹模座　8—顶出杆

说明：

1）本模具为无导向装置的复合挤压模（图上凸模固定板未表示）。

2）模具装有卸件板 2 与下顶出装置。

实例 63　极铁冷挤压模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-63a

零件图：图 12-63b

模具结构图：图 12-63c

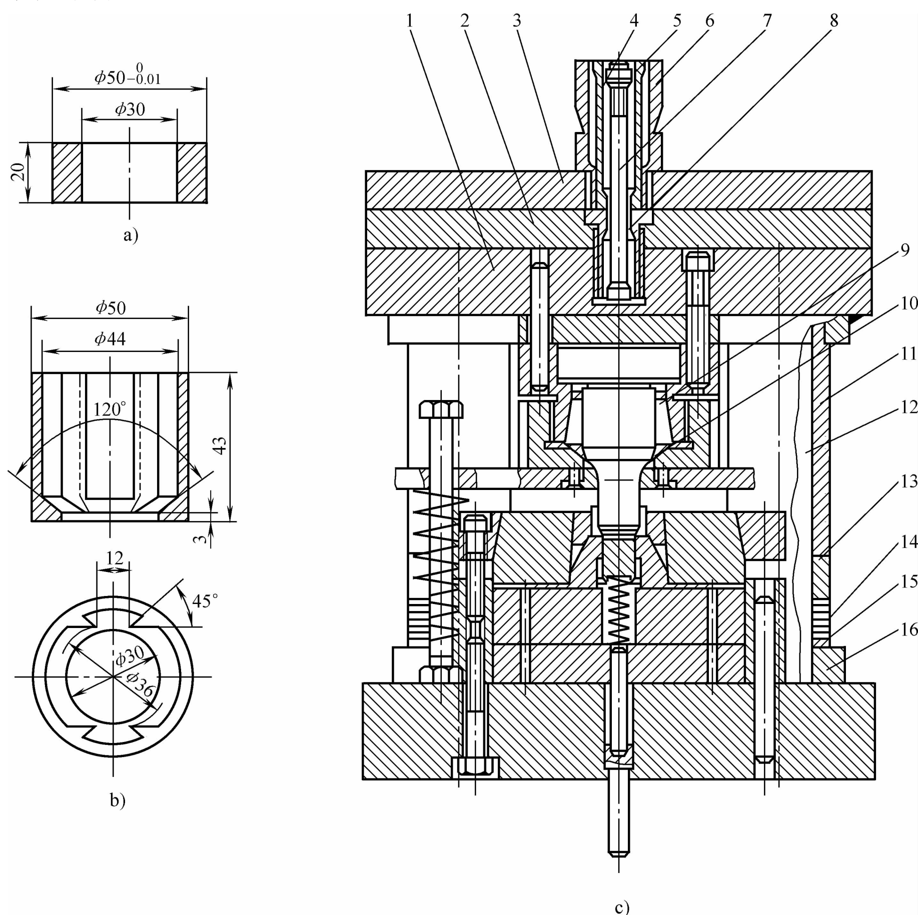


图 12-63　极铁冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模座　2—下球垫　3—上球垫　4—内套　5—螺母　6—模柄　7—螺杆

8—连接套　9—凸模夹块　10—弹簧垫　11—导套　12—导柱

13、15—限位套　14—限位垫片　16—导筒套

说明：

1）模具在摩擦压力机上使用，由于摩擦压力机的导向精度较差，在模架上采用四对导柱、导套（件 11、12）导向。

2）由于摩擦压力机的行程较大，为保证上模在上止点时，导柱与导套不脱离，采用活动模柄来减小导柱的长度。活动模柄由上球垫 3（上面为平面，下面呈半球形）和件 4 ~7 组成，既可以使导柱、导套在行程上止点时不脱离，又减小了滑块运动的不稳定对上模的影响。当滑块上行时，活动模柄的上球垫 3 与下球垫 2 首先分离，滑块再继

续上升到一定高度时，连接套 8 因件 6、5、4、7 的连续抽动而带动上模座 1 与下球垫 2 一起上升。上模座 1 与下球垫 2 用连接套 8 紧固。

3）用导套 11、限位套 13、限位垫片 14、限位套 15 和导筒套 16 来限制滑块下止点的位置，以便控制挤压件的高度。上述各件均需采用淬硬的模具钢。限位垫片 14 应做成多组的尺寸，以适应不同模具闭合高度的需要。为了调整方便，限位垫片应做成两半的。

4）凸模的固定采用弹簧垫 10 和凸模夹块 9 通过大螺母拧紧。

实例 64　管接头冷挤压模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-64a

零件图：图 12-64b

模具结构图：图 12-64c

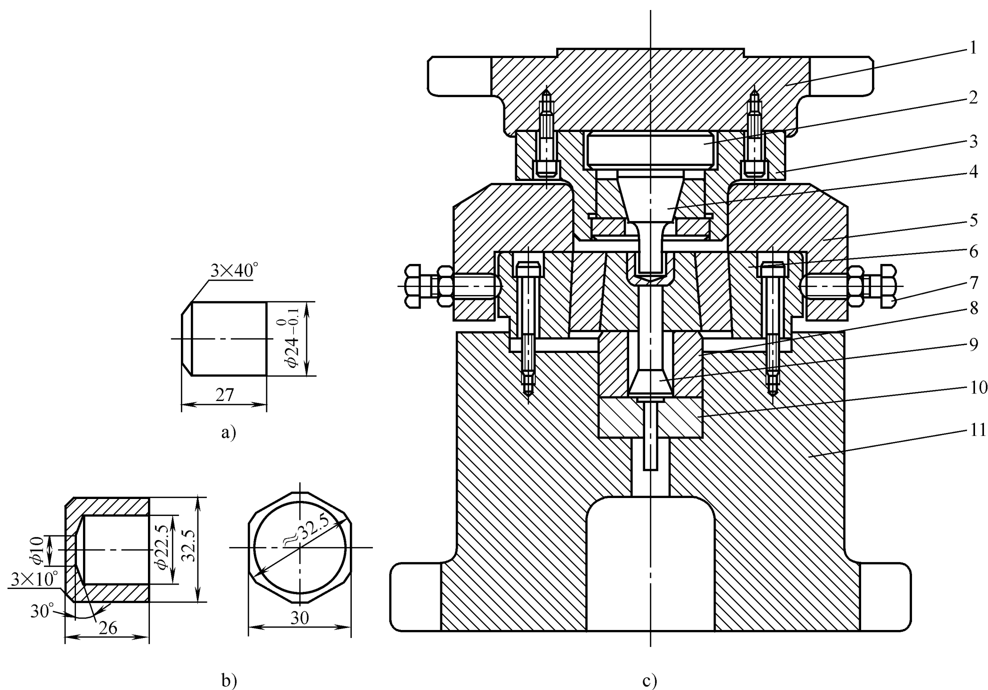


图 12-64　管接头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—上垫块　3—压紧圈　4—凸模　5—导向圈　6—凹模压紧圈

7—调节螺钉　8—垫圈　9—顶出杆　10—下垫块　11—下模座

说明：

1）本模具在 1000kN 液压机上使用。

2）模具导向采用件 3 与件 5 之间配合 H6/g6 来保证。

3）凸模 4、上模板 1 与下模座 11 的同轴度由件 6 与 11 定位，由调节螺钉 7 进行细调。

4）工件由顶出杆 9 顶出。

实例 65　圆盖冷挤压模具

零件材料：15 钢

毛坯图：图 12-65a

零件图：图 12-65b

模具结构图：图 12-65c

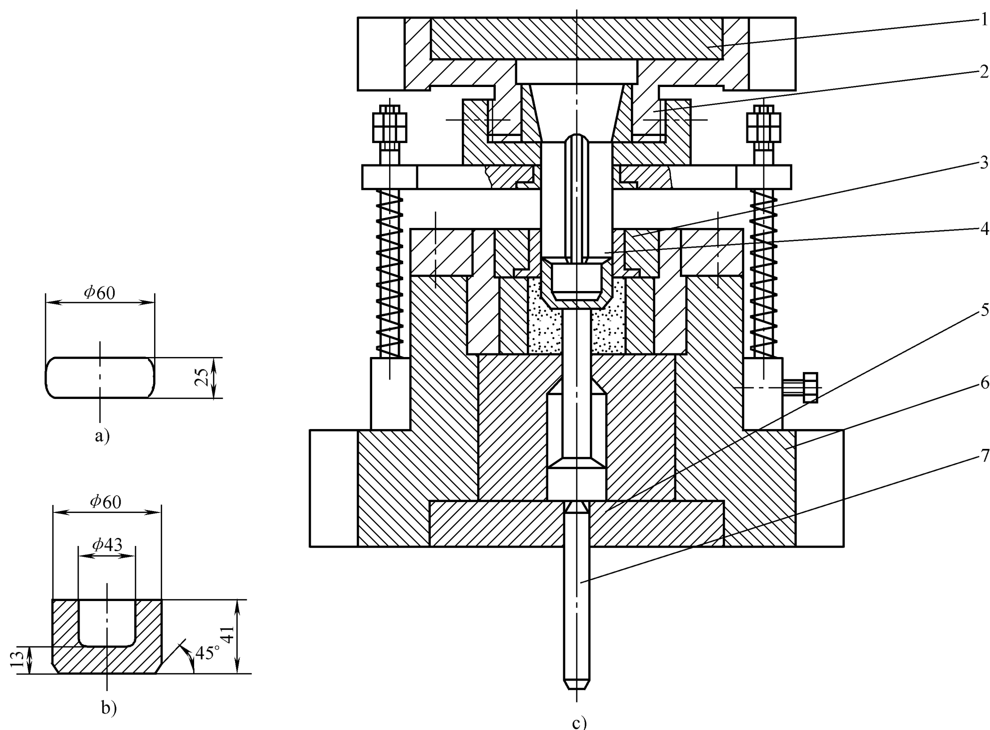


图 12-65　圆盖冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上垫板　2—上模座　3—导套　4—凸模　5—下垫板　6—下模座　7—顶杆

说明：

1）模具导向采用凸模 4 与导套 3 之间配合来保证。这种导向方法称为模口导向。采用模口导向所得挤压件的同轴度比导柱导向较高。

2）凸模 4 上铣三条槽，作为卸件用。

3）挤压力由上模座 2 中的上垫板 1 与下模座 6 中的下垫板 5 承受。

4）凹模采用硬质合金 YG20，寿命达数十万次。

5）工件由顶杆 7 通过顶出杆顶出。

实例 66　倒牙钢碗冷挤压模具

零件材料：Q215 钢

毛坯图：图 12-66a

零件图：图 12-66b

模具结构图：图 12-66c

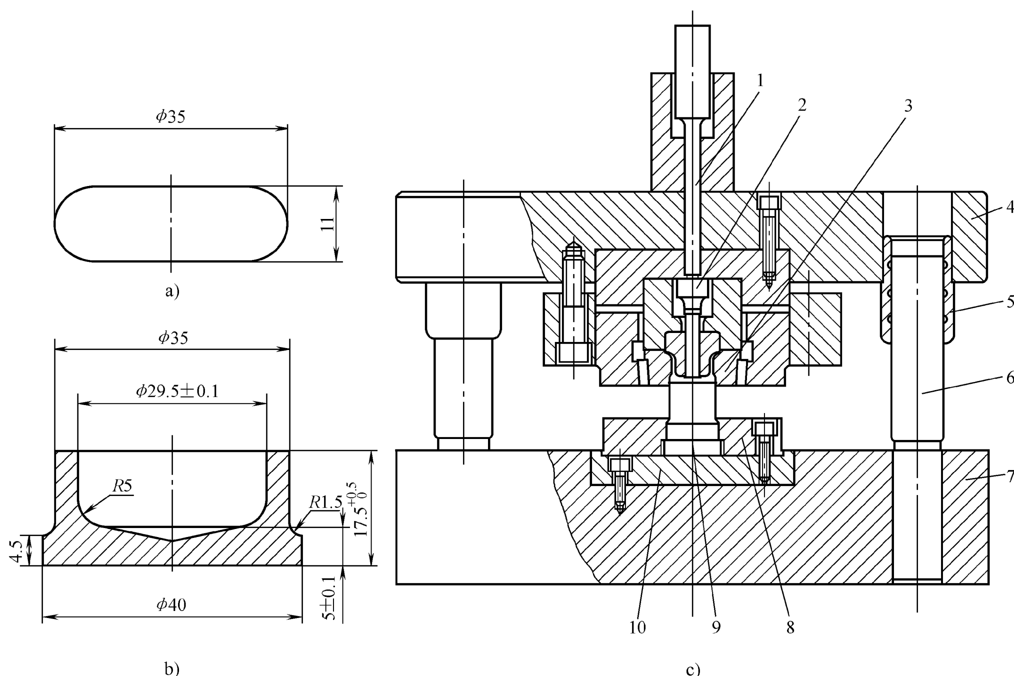


图 12-66　倒牙钢碗冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上打料杆　2—下打料杆　3—凹模　4—上模板　5—导套

6—导柱　7—下模板　8—凸模固定圈　9—凸模　10—垫板

说明：

1）本模具采用凹模倒装在上面，这是由于在工厂压力机上没有下顶料机构，倒装后可利用压力机上打料杆 1 和下打料杆 2 将工件推出，不必另装反拉杆机构。

2）凹模 3 外边采用过渡薄圈（外表为锥面，内孔为直筒）施加预应力。这种方法可使凹模 3 外表不必加工成锥面，制造简化。

3）凹模 3 的台阶尖角过渡处采用先淬硬再用硬质合金刀车削的方法加工，避免热处理应力，以保证模具寿命。

4）毛坯放在下模上要对准中心。定位器在上模向下行程时要自动让开，向上行程时复位起定位作用（定位器图上未表示）。

实例 67　管帽冷挤压模具

零件材料：15 钢

毛坯图：图 12-67a

零件图：图 12-67b

模具结构图：图 12-67c

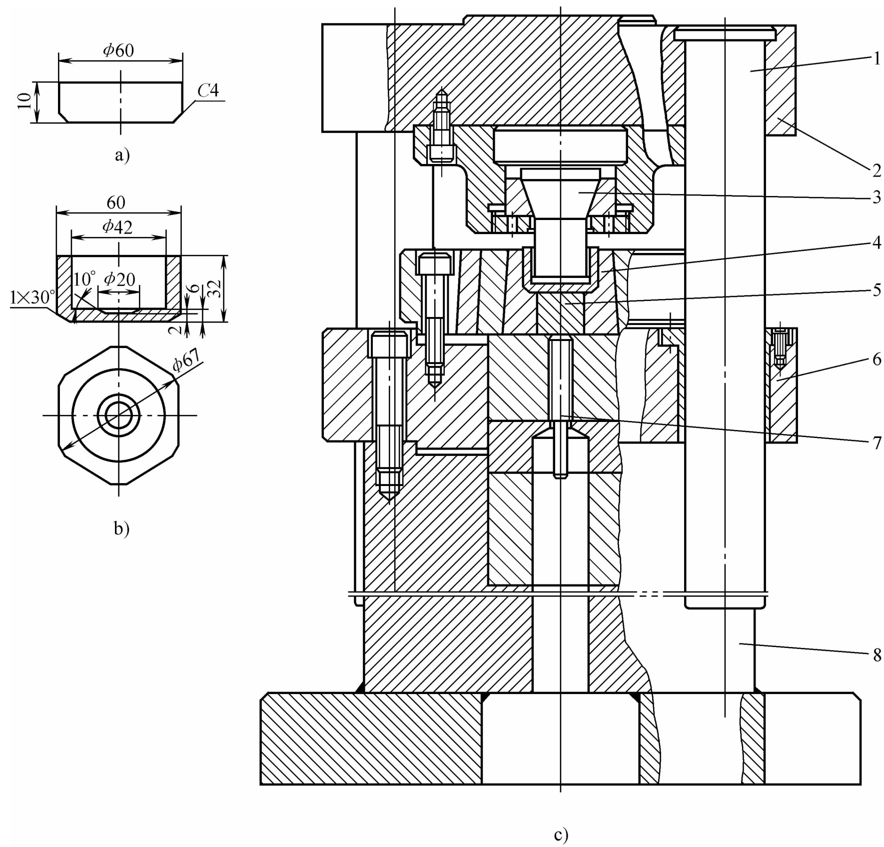


图 12-67　管帽冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—导柱　2—上模板　3—凸模　4—凹模　5—顶块　6—下模圈　7—顶出杆　8—下模座

说明：

1）本模具可用于在液压机上进行正挤压、反挤压或复合挤压。图上所示为用圆柱形毛坯反挤成六角外形的杯形件情形。

2）上模板 2 与下模圈 6 通过导柱 1 导向。

3）通过顶出杆 7 将工件从凹模内顶出。

实例 68　发动机气门顶杆冷挤压模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-68a

零件图：图 12-68b

模具结构图：图 12-68c

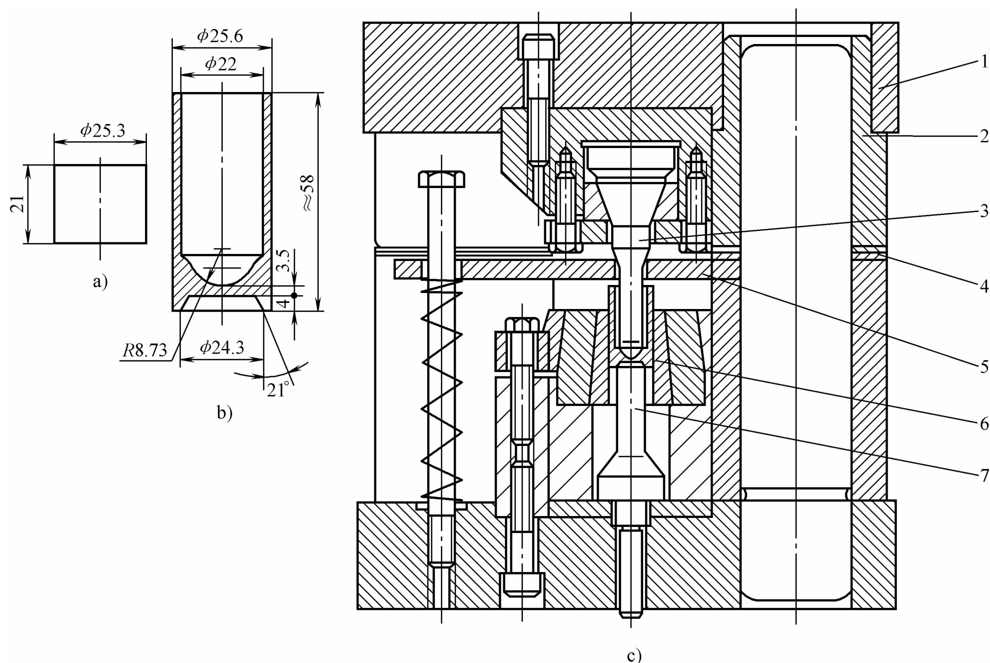


图 12-68　气门顶杆冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—导柱　2—导套　3—凸模　4—限位片　5—卸件板　6—凹模　7—顶出杆

说明：

1）本模具为在 3000kN 摩擦压力机上用的反挤压模。为加强定位精度，采用双导柱、导套（件 1、2）并将其直径加粗。

2）限位片 4 用以控制挤压件的连皮厚度。

3）模具装有顶出杆 7（兼作下凸模）及卸件板 5。

4）凸模 3 上端采用锥形定位固定，凹模 6 采用多层组合结构。

实例 69　轴承内圈冷挤压模具

零件材料：GCr15 轴承钢

毛坯图：图 12-69a

零件图：图 12-69b

模具结构图：图 12-69c

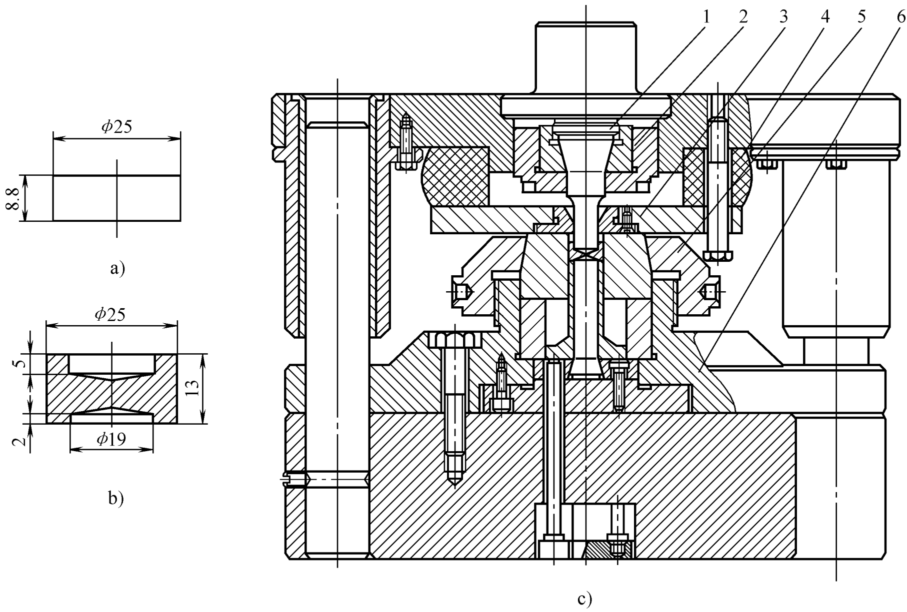


图 12-69　轴承内圈冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—定位块　2—凸模定位圈　3—卸件板　4—橡胶　5—螺母　6—下模座

说明：

1）本模具为带有导柱导向的复合挤压模。

2）凸模与凹模均用轴承钢 GCr15 制造，模具平均寿命为两万件。

3）凹模圈用压紧螺母 5 紧固在下模座 6 上，装卸方便。

4）由卸件板 3 与橡胶 4 组成的软性卸件装置将工件从凸模上卸下。

5）凸模用定位块 1 与凸模定位圈 2 定位。

实例 70　轴承套圈冷挤压模具

零件材料：GCr15 轴承钢

毛坯图：图 12-70a

零件图：图 12-70b

模具结构图：图 12-70c

说明：

1）本模具为翻边挤压复合模。毛坯先进行翻边，随着凸模的下降即同时挤压成

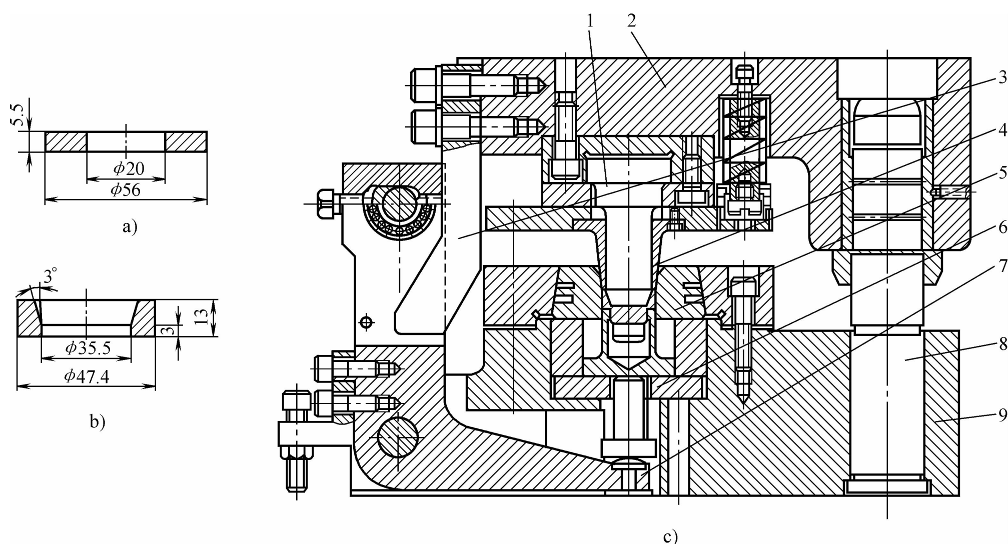


图 12-70 轴承套圈翻边挤压复合模
a）毛坯 b）零件 c）模具结构
1—凸模 2—上模板 3—滑板 4—套环 5—凹模
6—下顶杆 7—杠杆 8—导柱 9—下模板

形。成形是在温热挤压温度范围内进行的。

2）套环 4 在成形最后阶段作为成形凸模施加压力用，在回程时作卸件环用（采用弹簧卸件）。

3）成形凹模 5 外有冷却槽。

4）下顶出靠滑板 3 的斜面推动杠杆 7、下顶杆 6 来实现。

实例 71 力车轴挡冷挤压模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-71a

零件图：图 12-71b

模具结构图：图 12-71c

说明：

1）本模具为复合挤压模。

2）模具采用导柱 11、导套 12 导向。

3）采用反拉杆机构，将工件从凹模 5 中顶出。

实例 72 汽车轮胎螺母预成形件冷挤压模具

零件材料：35 钢

毛坯图：图 12-72a

零件图：图 12-72b

模具结构图：图 12-72c

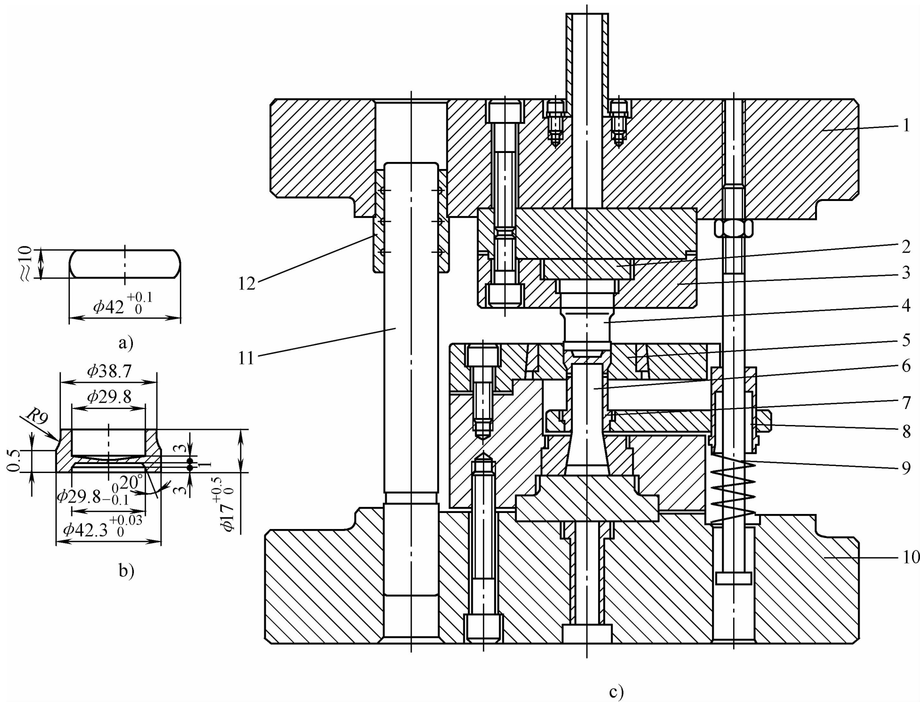


图 12-71　力车轴挡冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—垫块　3—固定圈　4—上凸模　5—凹模　6—下凸模

7—顶出套　8—顶板　9—拉杆　10—下模板　11—导柱　12—导套

说明：

1）本模具属于冷镦预成形模。

2）用导向环 4 导向。

4）成形后，通过顶杆 9、顶块 10 及顶出杆 14 顶出工件。

实例 73　汽车轮胎螺母终成形件冷挤压模具

零件材料：35 钢

毛坯图：图 12-73a

零件图：图 12-73b

模具结构图：图 12-73c

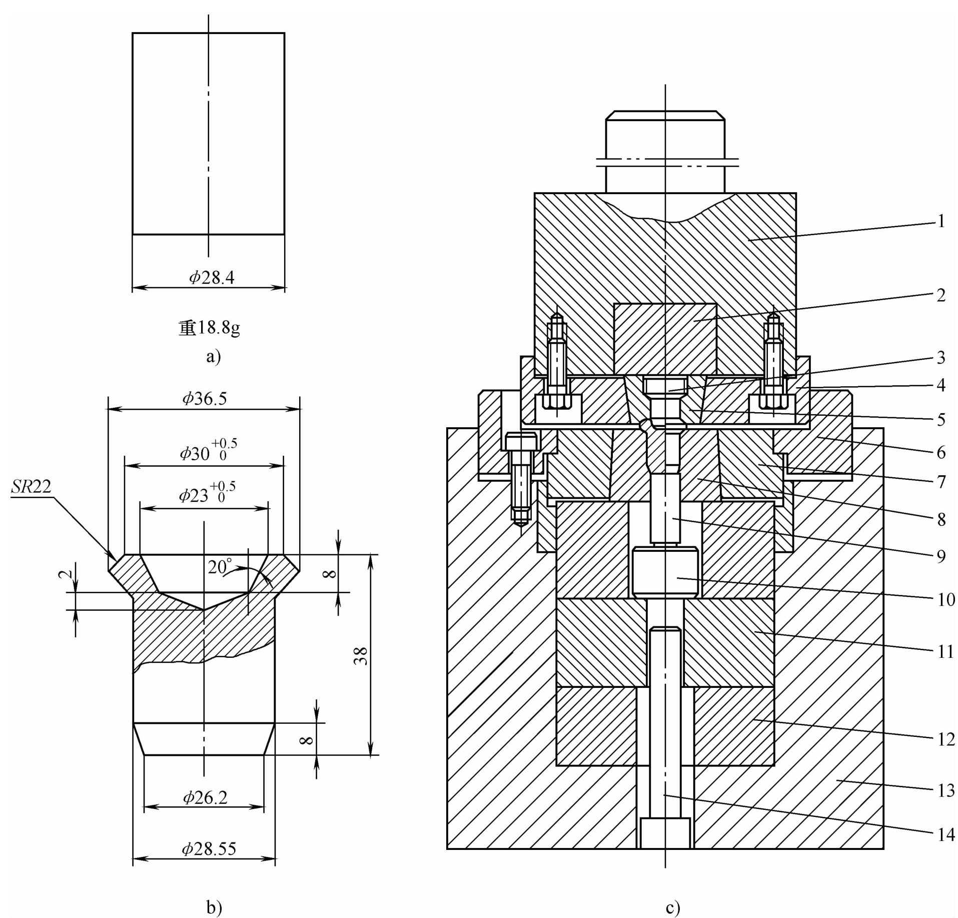


图 12-72　汽车轮胎螺母预成形件冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模座　2—上垫块　3—凸模　4—导向环　5—凸模固定圈　6—压紧圈

7—预应力圈　8—凹模　9—顶杆　10—顶块　11—中垫块　12—下垫块

13—下模座　14—顶出杆

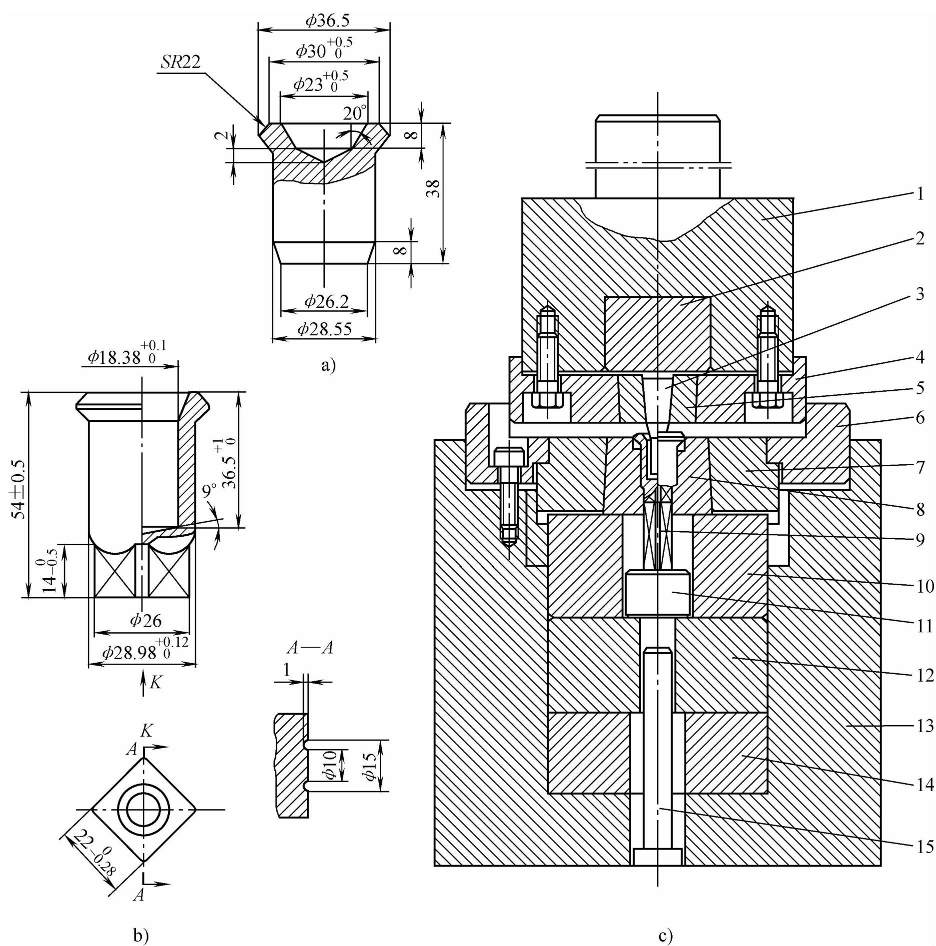


图 12-73　汽车轮胎螺母终成形件冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模座　2—上垫块　3—凸模　4—导向环　5—凸模固定圈　6—压紧圈

7—预应力圈　8—凹模　9—顶杆　10、12、14—垫块　11—顶块

13—下模座　15—顶出杆

说明：

1）本模具为复合挤压模，在反挤压同时挤出尾部方体。

2）用导向环 4 导向。

3）顶出器（兼作凹模底部型腔）将工件顶出。

实例 74　火花塞壳体冷挤压模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-74a

零件图：图 12-74b

模具结构图：图 12-74c

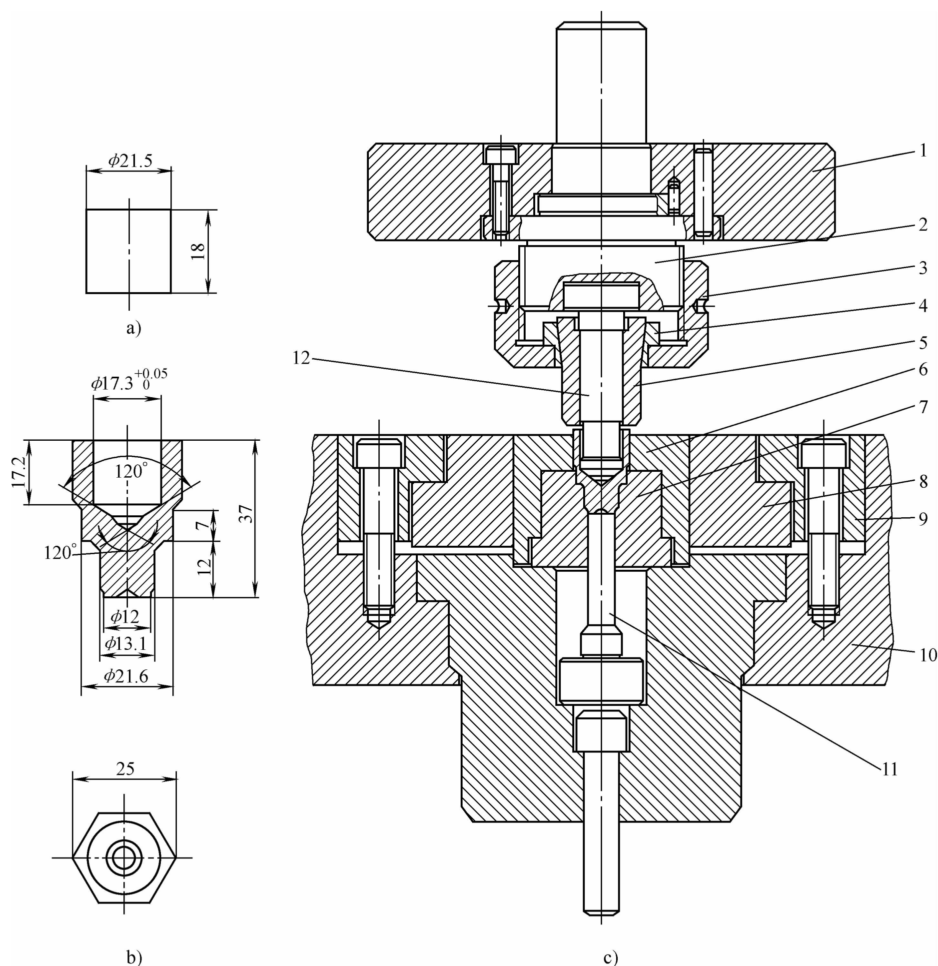


图 12-74　火花塞壳体冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—凸模接柱　3—大螺母　4—锥套　5—凸模外套　6—上凹模

7—下凹模　8—预应力圈　9—压紧圈　10—下模板　11—顶杆镶块　12—凸模

说明：

1）本模具为复合挤压模，用实心毛坯一次挤压成火花塞壳体。

2）凸模部分由大螺母 3 通过锥套 4 与凸模外套 5 固定在上模板 1 上。

3）凹模采用分体结构，由上凹模 6 和下凹模 7 两件组成。

实例 75　汽车起动齿轮冷挤压模具

零件材料：20Cr 钢

毛坯图：图 12-75a

零件图：图 12-75b

模具结构图：图 12-75c

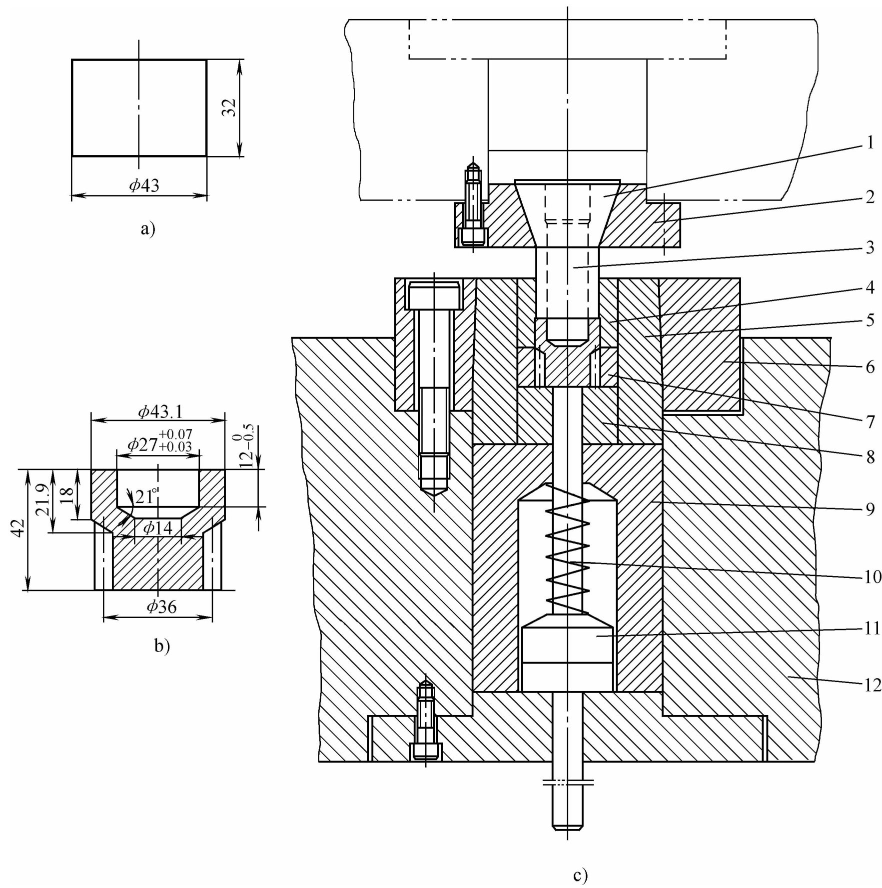


图 12-75　汽车起动齿轮冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—凸模固定圈　3—芯轴　4—凹模　5—预应力圈　6—压紧圈　7—齿形凹模　8—垫块　9—衬套　10—弹簧　11—顶杆　12—下模座

说明：

1）本模具属于模数为 3mm 的正齿轮复合挤压模。

2）凹模部分采用分体拼镶结构，由凹模 4 和齿形凹模 7 两件组成。

3）凸模部分采用分体拼镶结构，由凸模 1 和芯轴 3 两件组成。

4）齿形凹模用电火花加工。

实例 76　凿岩机零件冷挤压模具

零件材料：T10A 碳素工具钢

毛坯图：图 12-76a

预成形件毛坯：图 12-76b

零件图：图 12-76c

模具结构图：图 12-76d

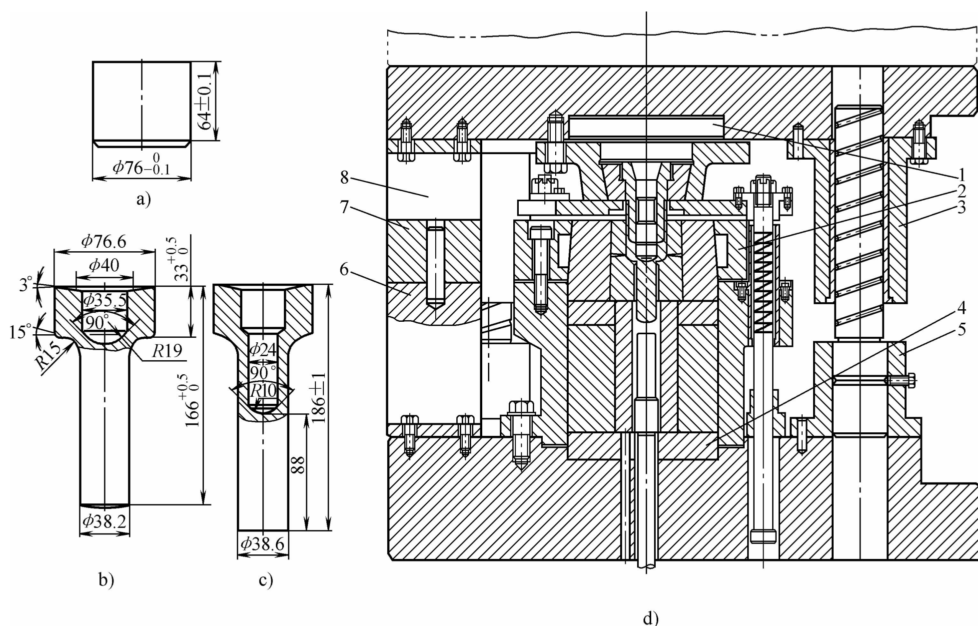


图 12-76　凿岩机零件挤压模具

a）毛坯　b）预成形件毛坯　c）零件　d）模具结构

1—尾柱　2—凹模固定圈　3—上导套　4—垫块　5—下导套　6、8—限程块　7—调整垫块

说明：

1）本模具为在 10000kN 液压机上用的挤压模，采用导柱导向。

2）为了适用于冷挤压和温热挤压，凹模固定圈 2 设有冷却槽，使温热挤压时模具保持在一个比较稳定的温度范围内。

3）模具装有限程块 6、8 以及调整垫块 7，以保证较精确的闭合高度。

4）由尾柱 1 和垫块 4 作为基准，以保证对准中心。

5）模具的四根导柱，借助于上导套 3 和下导套 5 的可调性（制造时），简化了模架的加工。

6）通过调换模具的工作部分，就可进行终成形工序获得工件。

实例 77　活塞销冷挤压模具

零件材料：20Cr 钢

毛坯图：图 12-77a

零件图：图 12-77b

模具结构图：图 12-77c

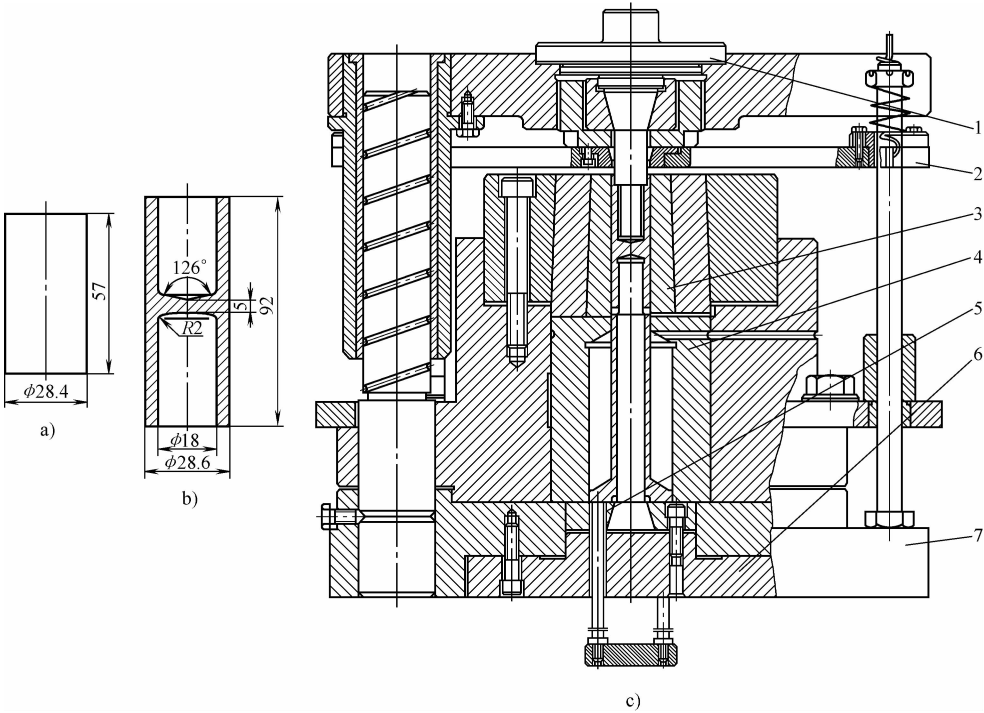


图 12-77　活塞销冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上垫块　2—卸件板　3—凹模　4—滑套　5—顶杆　6—下垫块　7—下模板

说明：

1）本模具为带有导柱导向的复合挤压模。

2）由于金属向上流动较向下流动容易（在同样变形程度之下），因此将上凸模中心锥度做得比下凸模中心锥度稍小，同时在上凸模有一台阶用于限制金属向上流动。

3）采用卸件板 2 卸件。

4）采用三根顶杆 5 推动环形顶出器将工件顶出。

5）凹模 3 外有预应力圈。

6）滑套 4 上开有出气槽。

7）上垫块 1 及下垫块 6 为承压件。

实例 78　钢接头冷挤压模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-78a

零件图：图 12-78b

模具结构图：图 12-78c

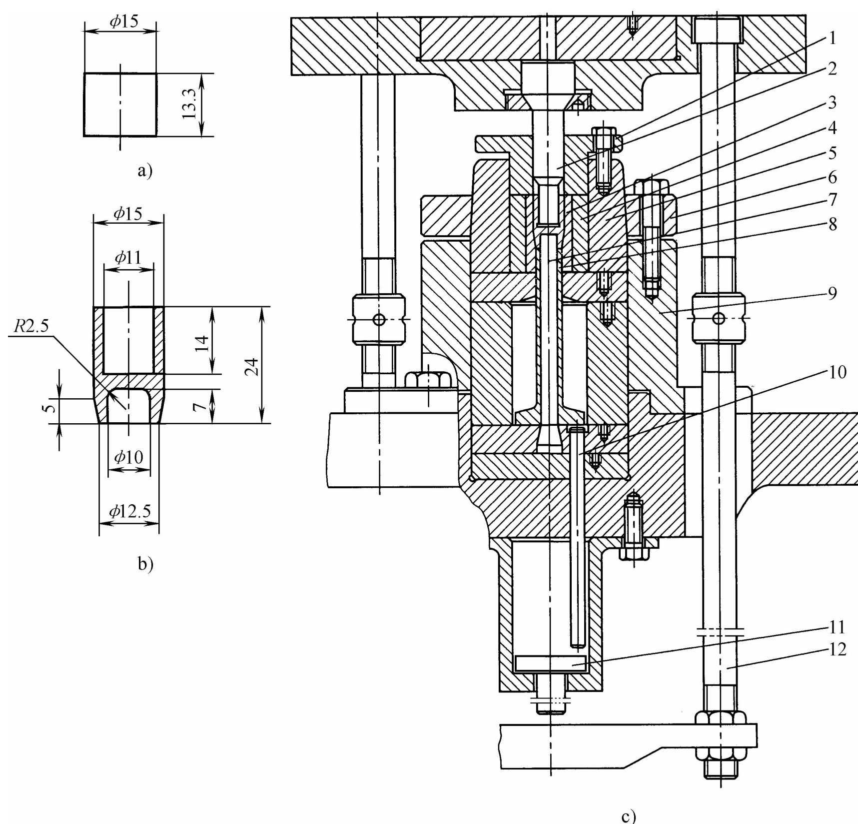


图 12-78　钢接头冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—导套　2—上凸模　3—凹模　4—内预应力圈　5—外预应力圈　6—压紧圈　7—下凸模　8—顶出套　9—凹模套　10、11—顶杆　12—反拉杆

说明：

1）本模具为复合挤压模。

2）采用模口导向，依靠上凸模 2 与导套 1 的准确配合来保证导向精度。模口导向的导向精度较导柱导向为高，可以得到较小的工件壁厚差。

3）采用组合凹模，由件 3、4、5 组成，件 6 与件 9 通过螺钉联接。

4）采用可调式反拉杆 12，通过顶杆 11、10 及套在下凸模 7 外边的环形顶出套 8 将

工件顶出。

实例 79　自行车花盘冷挤压模具

零件材料：Q215 钢

毛坯图：图 12-79a

零件图：图 12-79b

模具结构图：图 12-79c

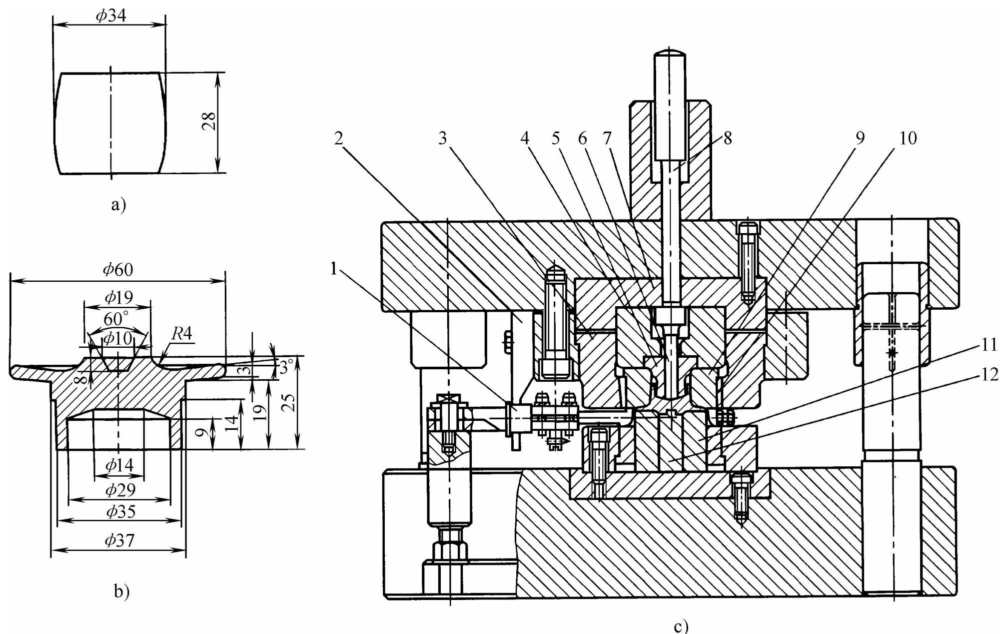


图 12-79　自行车花盘冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—夹钳机构　2—斜楔　3—上模　4、7—垫板　5—上模　6—芯轴推杆

8—打料杆　9—上凹模　10—过渡圈　11—下凹模　12—凹模镶块

说明：

1）本模具是复合挤压模，在挤压的同时将工件凸缘镦成。

2）采用分成两半的弹性夹钳机构 1 将毛坯放在下凹模 11 面上定位。当滑块下行时利用斜楔 2 将夹钳撑开，以免与上模 3 碰撞。

3）为了避免应力集中，下模工作部分分割成 11、12 两件，采用分体结构后模具寿命显著提高。

4）上凹模 9 采用两层预应力圈组合，凹模与应力圈之间装有薄壁过渡圈 10。过渡圈外壁斜度 1°30′，内壁呈直筒形，这样可以简化上凹模 9 的外壁加工（不必磨出准确配合的斜度）。

5）上模部分采用分体结构，由件 5、6（兼作顶出杆）组成。利用压力机上的打杆

通过件 8、6 将工件从上模上顶出。件 4、7 为垫板，起定位及承压作用。

实例 80　钻夹头钥匙预成形模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-80a

零件图：图 12-80b

模具结构图：图 12-80c

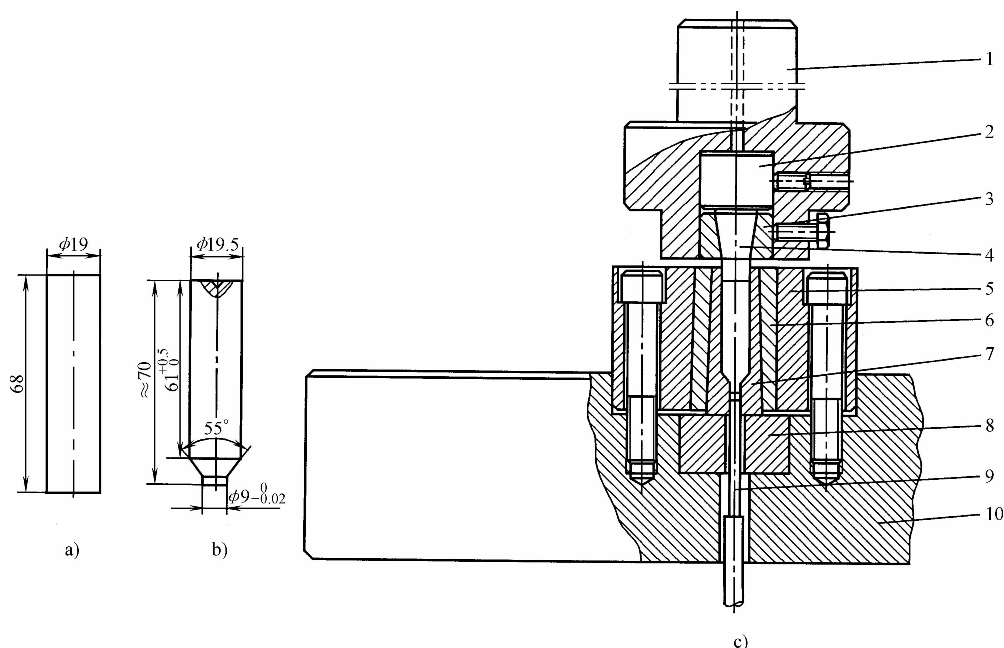


图 12-80　钻夹头钥匙预成形模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模座　2—上垫块　3—凸模　4—锥形套　5—压紧圈　6—预应力圈

7—凹模　8—下垫块　9—顶出杆　10—下模座

说明：

1）本模具为钻夹头钥匙冷挤压前的预成形模，将毛坯预先挤成 55°的锥角。

2）凹模部分采用三层组合结构，由凹模 7、预应力圈 6 和压紧圈 5 组成。

3）成形后，通过顶出杆 9 顶出工件。

实例 81　钻夹头钥匙冷挤压模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-81a

零件图：图 12-81b

模具结构图：图 12-81c

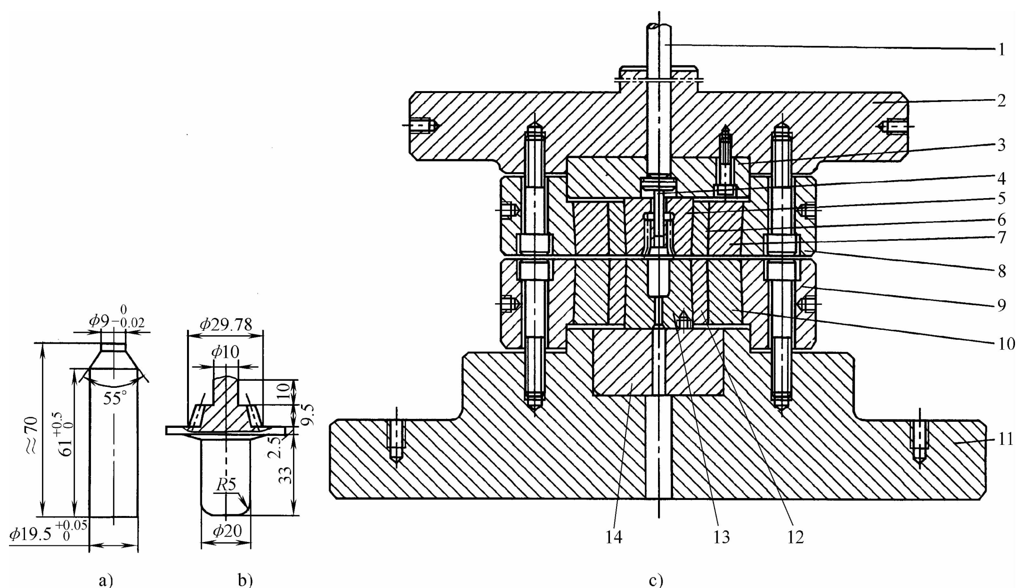


图 12-81　钻夹头钥匙冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—打料杆　2—上模板　3—上垫块　4—推出杆　5—上凹模　6—上中预应力圈　7—上外圈　8—上压紧圈　9—下压紧圈　10—下外圈　11—下模板　12—下中预应力圈　13—下凹模　14—下垫块

说明：

1）本模具为锥形齿轮冷挤成形模，成形过程中形成厚度为 2. 5mm 的飞边。

2）上凹模 5 齿形的每个齿端都有直径 0. 5mm 的出气孔，否则金属就填不满。

3）工件由上模推出杆 4 推出。

4）凹模齿形用电火花加工。

实例 82　汽油机弹簧座冷挤压模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-82a

零件图：图 12-82b

模具结构图：图 12-82c

说明：

1）本模具为带有导柱导向的冷挤、冷镦复合模。用于通用单点压力机，通过模柄 4 与机床滑块定位连接。

2）凹模压紧圈 7 开有沟槽，便于机械化上、下料。

3）为了保证毛坯进入凹模 8，用顶杆 10 将下顶出板在放料前顶开，使顶出杆 11 落到最下位置。

4）凸模 2 由定位圈 5 定位，由大螺母 6 固紧，件 9 为下模承压垫板。

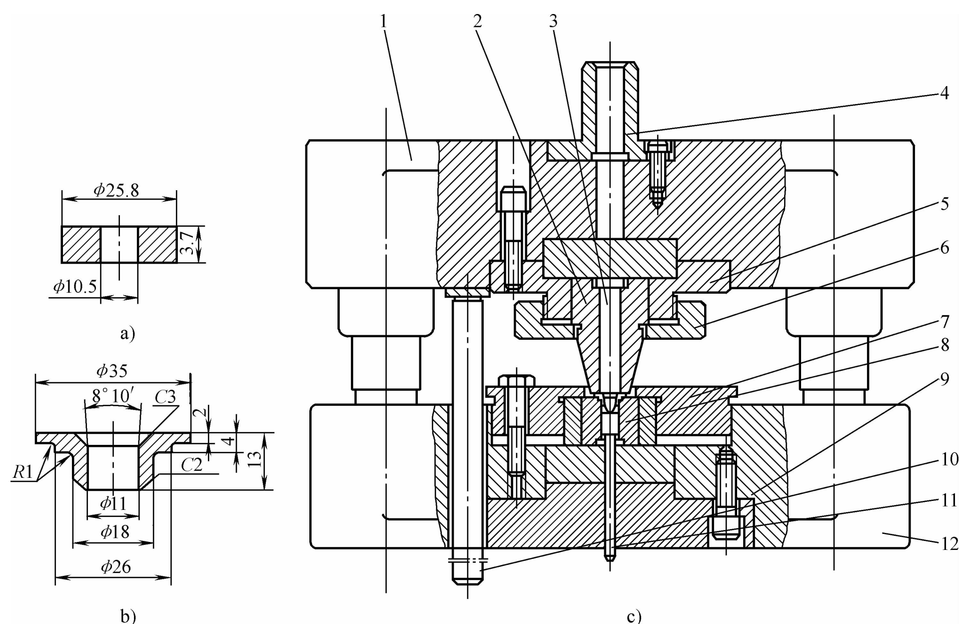


图 12-82　汽油机弹簧座冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模座　2—凸模　3—芯轴　4—模柄　5—定位圈　6—大螺母　7—压紧圈

8—凹模　9—下垫板　10—顶杆　11—顶出杆　12—下模座

实例 83　螺塞冷镦模具

零件材料：10 钢

毛坯图：图 12-83a

零件图：图 12-83b

模具结构图：图 12-83c

说明：

1）本模具为采用模圈导向套导向的冷镦模。工作时导向套 13 与下模外圈 11 之间采用间隙配合。整个模具在工作时处于封闭状态，导向套 13 还起安全防护罩的作用。

2）为了保证六角头部成形和提高模具寿命，毛坯的体积要大于零件的体积，多余料变成厚 2mm 的飞边。

3）上凹模六角底部型腔开有出气孔，确保六角头部轮廓清晰。

4）模具装有限位套 10。

5）上下模均采用预应力结构，件 12 为上模预应力圈。

实例 84　汽车球头销冷镦模具

零件材料：15Cr 钢

毛坯图：图 12-84a

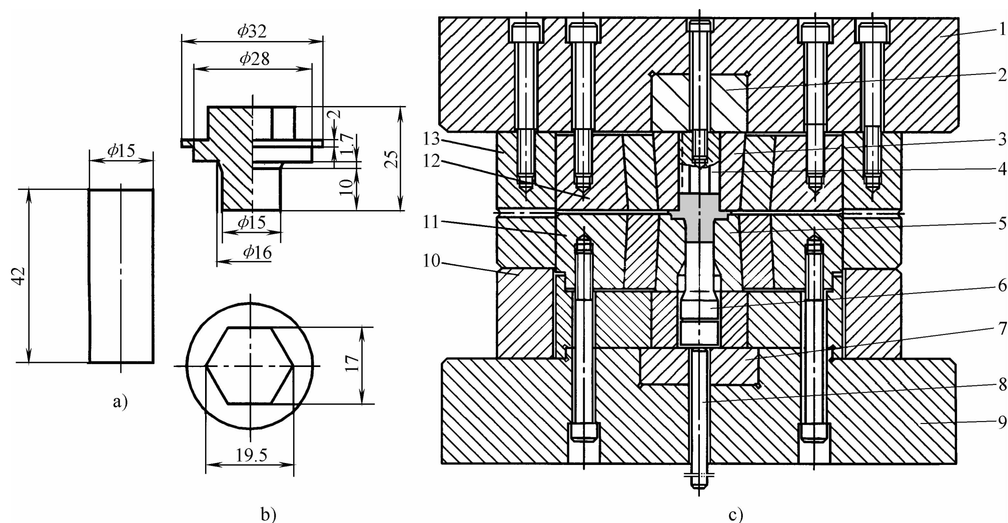


图 12-83　螺塞冷镦模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模板　2—上垫块　3—上凹模　4—芯轴　5—下凹模　6—顶出杆　7—下垫块　8—顶杆

9—下模板　10—限位套　11—下模外圈　12—上模预应力圈　13—导向套

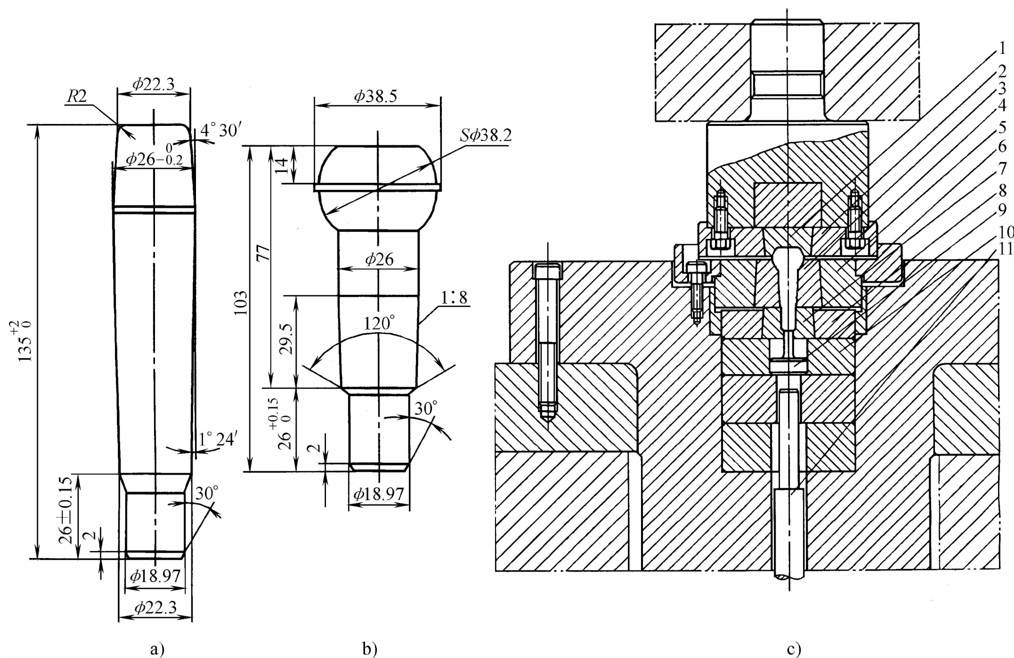


图 12-84　汽车球头销冷镦模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—凸模固定圈　3—上凹模　4—螺钉　5—上预应力圈　6—导向套

7—下凹模　8—下预应力圈　9—顶出杆　10—垫板　11—顶杆

零件图：图 12-84b

模具结构图：图 12-84c

说明：

1）本模具属于模圈导向套导向的冷镦模。件 2、6 之间采用间隙配合。

2）凹模部分采用上下层分体结构，由上凹模 3 和下凹模 7 两件组成。

3）凸模 1 及上、下凹模 3、7 分别采用圈 2、5、8 施加预应力。

4）飞边在凸模 1 与上凹模 3 之间形成。

5）通过顶杆 11 与顶出杆 9 将工件顶出。

6）上模用螺钉 4 固定，件 10 为垫板。

实例 85　多层旋转体冷挤压模具

零件材料：1050A 纯铝

毛坯图：图 12-85a

零件图：图 12-85b

模具结构图：图 12-85c

说明：

1）本模具为正反挤压多层复合挤压模。

2）模具下模采用镶块组合形式，由下凸模芯 14、上凹模 5、下凹模 13、下凸模外套 12 组成。

3）用上凸模 4 的工作部分与上凹模 5 实行导向，使其结构简单、有效。

实例 86　不锈钢轴套冷挤压模具

零件材料：20Cr13 不锈钢

毛坯图：图 12-86a

零件图：图 12-86b

模具结构图：图 12-86c

说明：

1）本模具为正反复合挤压模。

2）模具中的凸模 17、凸模固定板 14 和顶杆 9 可以成组更换，因而可用于定径、中孔挤压和复合挤压三工位中的任何一道工序，所使用的设备为自动压力机，定径工序将毛坯挤压成精确的圆柱表面并保证两端面的平行，中孔挤压工序使上端面挤压出深 4mm 的不通孔，其直径及孔底形状与复合挤压时的孔径及孔底形状相同。

3）模具中的垫块 7 可控制凹模 5 和加强套 6 的轴向位置，承受挤压时所需要的压力。

实例 87　法兰面自锁螺母冷挤压模具

零件材料：TB3 钛合金

毛坯图：图 12-87a

冷挤压图：图 12-87b

零件图（冲连皮后）：图 12-87c

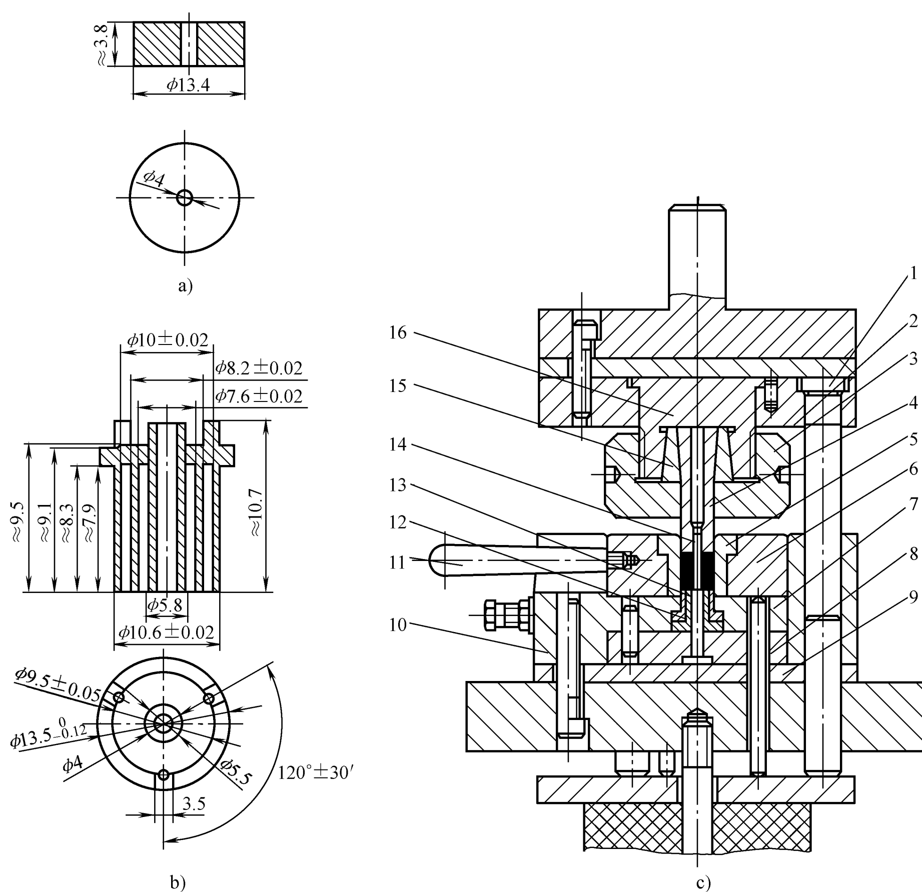


图 12-85　多层旋转体复合冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—导柱　2—上盖板　3—紧固螺母　4—上凸模　5—上凹模　6—凹模套　7—垫板　8—凸模固定板　9—下垫板　10—护套　11—手柄　12—下凸模外套　13—下凹模　14—下凸模芯　15—上凸模压圈　16—上凸模座

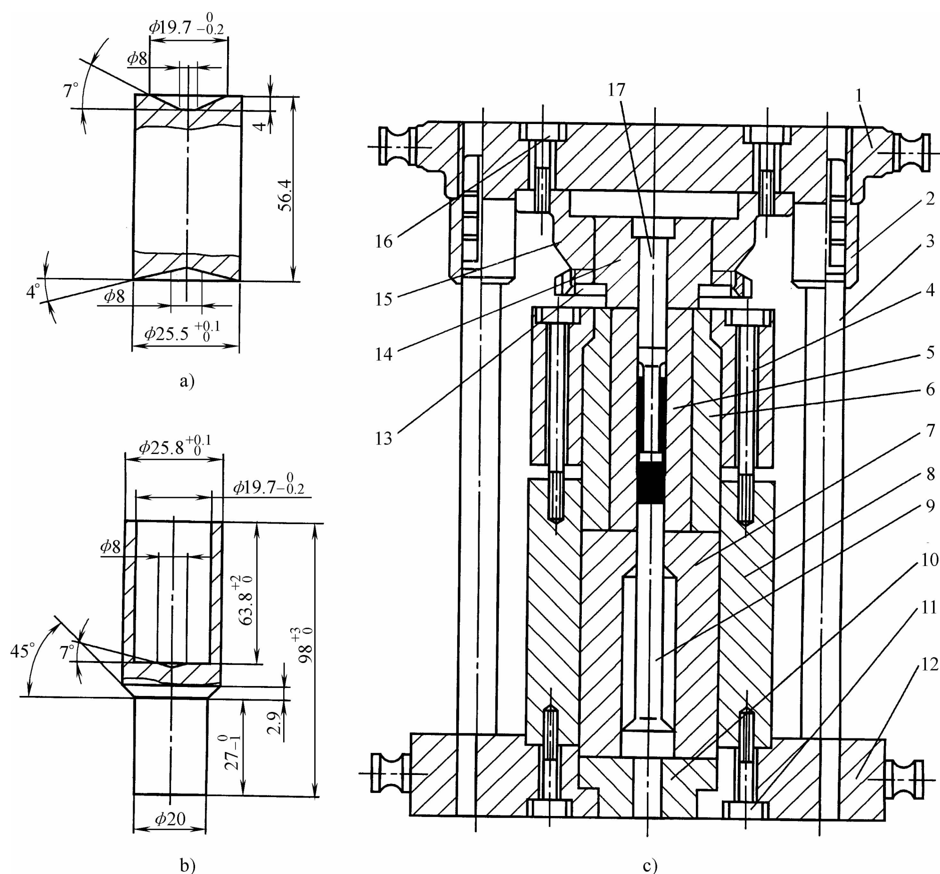


图 12-86　不锈钢轴套复合冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上模座　2—导套　3—导柱　4、11、16—螺钉　5—凹模　6—加强套　7—垫块　8—外套　9—顶杆　10—垫圈　12—下模座　13—凸模紧固螺母　14—凸模固定板　15—凸模套　17—凸模

模具结构图：图 12-87d

说明：

1）本模具为正挤压模。

2）模架采用导柱 10 导向，导柱导套采用一级精度配合。

3）凹模采用分体组合结构，能有效地防止凹模横向开裂。

4）制件 26 挤出后，由顶杆 19 顶出，并通过半刚性卸件板 12 推下。

实例 88　卷筒内齿轮冷挤压模具

零件材料：20 钢

毛坯图：图 12-88a

零件图：图 12-88b

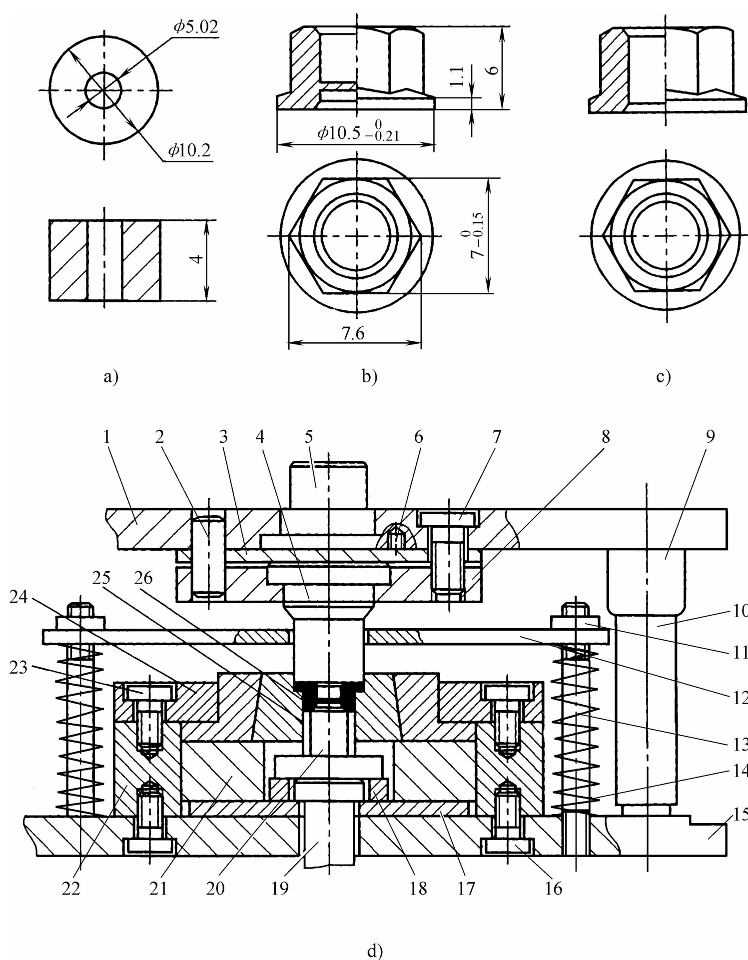


图 12-87　法兰面自锁螺母冷挤压模具

a）毛坯　b）冷挤压件　c）零件　d）模具结构

1—上模板　2—圆柱销　3—上垫板　4—上凸模　5—模柄　6—止动销
7、16、23—螺钉　8—上凸模固定板　9—导套　10—导柱　11—螺母
12—卸件板　13—卸料螺栓　14—弹簧　15—下模板　17—下垫板
18—下凸模垫板　19—顶杆　20—下凸模　21—凹模垫圈
22—凹模固定套　24—压板　25—组合凹模　26—制件

模具结构图：图 12-88c

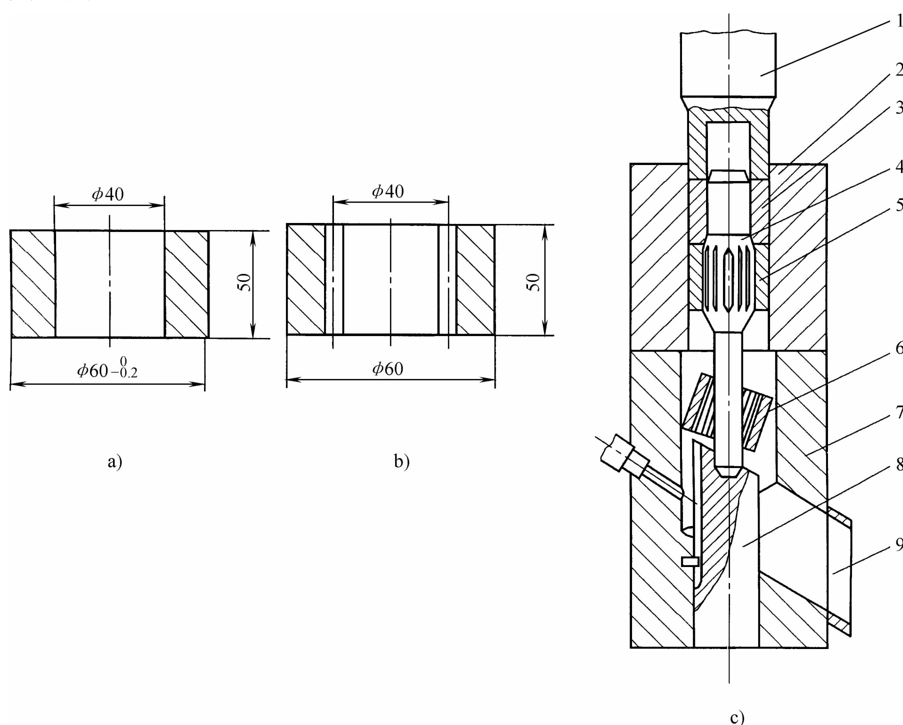


图 12-88　卷筒内齿轮冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—上套筒模　3—筒形毛坯　4—带外齿芯轴　5—挤压制件

6—挤出齿轮件　7—下套筒模　8—顶杆　9—出料口

说明：

1）本模具为正挤压模。

2）挤压成形后，挤出齿轮件 6 跌落在下套筒模 7 内，经过出料口 9 取出。

3）顶杆 8 对带外齿芯轴 4 起到导向及支承作用，这样可以保证挤压制件 5 具有很高的同轴度。

实例 89　齿圈冷挤压模具

零件材料：45 钢

毛坯图：图 12-89a

零件图：图 12-89b

模具结构图：图 12-89c

说明：

1）本模具为复合挤压模，采用导柱 15 导向。

2）凸模 1 下行时，导柱 15 压下下顶杆 10，这使橡胶上的顶板 9 向下运动压缩橡胶

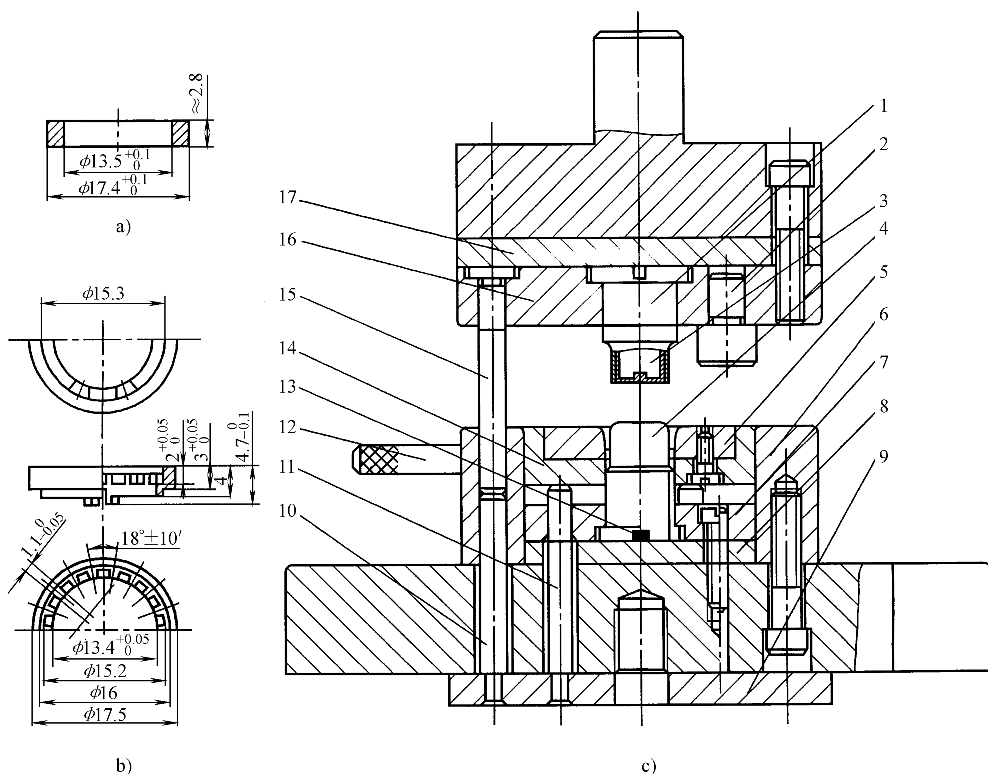


图 12-89　齿圈复合冷挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—凸模　2—刚性限位器　3—凸模镶套　4—下凸模　5—凹模　6—外套　7—凹模垫板　8—垫板　9—顶板　10—下顶杆　11—顶料杆　12—手柄　13—键　14—凹模套　15—导柱　16—凸模固定板　17—垫板

弹顶器（图中未绘出），从而带动顶料杆 11 也向下运动，使凹模套 14 的下底面与凹模垫板 7 的上平面接触。凸模继续下行将工件挤压成形。

3）为了防止下凸模 4 转动，通过键 13 固定。

实例 90　双金属凸缘冷挤压模具

零件材料：DT8 纯铁 + T1 纯铜

毛坯图：图 12-90a

零件图：图 12-90b

模具结构图：图 12-90c

说明：

1）本模具为正挤压模。

2）将定量的铜液倒入筒形件毛坯内，放进凹模中，当液压机滑块下行时，冲头芯 14 和冲头外套 12 进入凹模 4 进行闭式正挤。

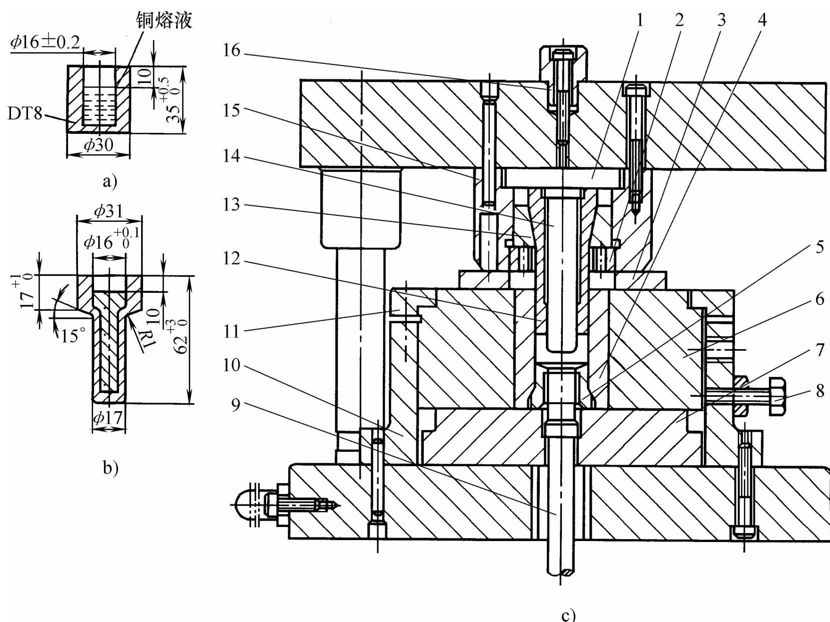


图 12-90　双金属凸缘正挤压模具

a）毛坯　b）零件　c）模具结构

1—上垫板　2—凸模压紧圈　3—限位块　4—凹模　5—凹模芯　6—凹模套　7—凹模垫　8—调节螺母　9—顶杆　10—凹模座　11—压板　12—冲头外套　13—冲头紧固圈　14—冲头芯　15—冲头座　16—定位柱

3）挤压成形后，通过顶杆 9 顶出工件。

实例 91　火花塞壳体（多工位自动机）冷挤压模具

零件材料：ML10 钢盘料

毛坯图：图 12-91a

工序图：图 12-91b

零件图：图 12-91c

模具结构图：图 12-91d

说明：

1）冷挤压火花塞壳体装在卧式专用多工位冷挤压机上。

2）图 12-91 是冷挤压工艺中第三工位模具结构图。

3）模具工作原理：毛坯随着凸模 33 压入件 12、13、14、32、34 的组合凹模型腔成形。在回程时，挤压件可能留在凹模内，也有可能粘在凸模上面。模具的顶出机构和卸料装置设计时要充分考虑这一点。如果挤压件粘在凸模上时，通过卸料顶杆 6 和卸料顶板 27 的共同作用，环形卸料器 31 将向前推进，把挤压件从凸模上卸出，然后靠复位螺柱 21 和压缩弹簧 22 的工作复位。如果挤压件被留在了凹模的型腔内，通过凹模顶出

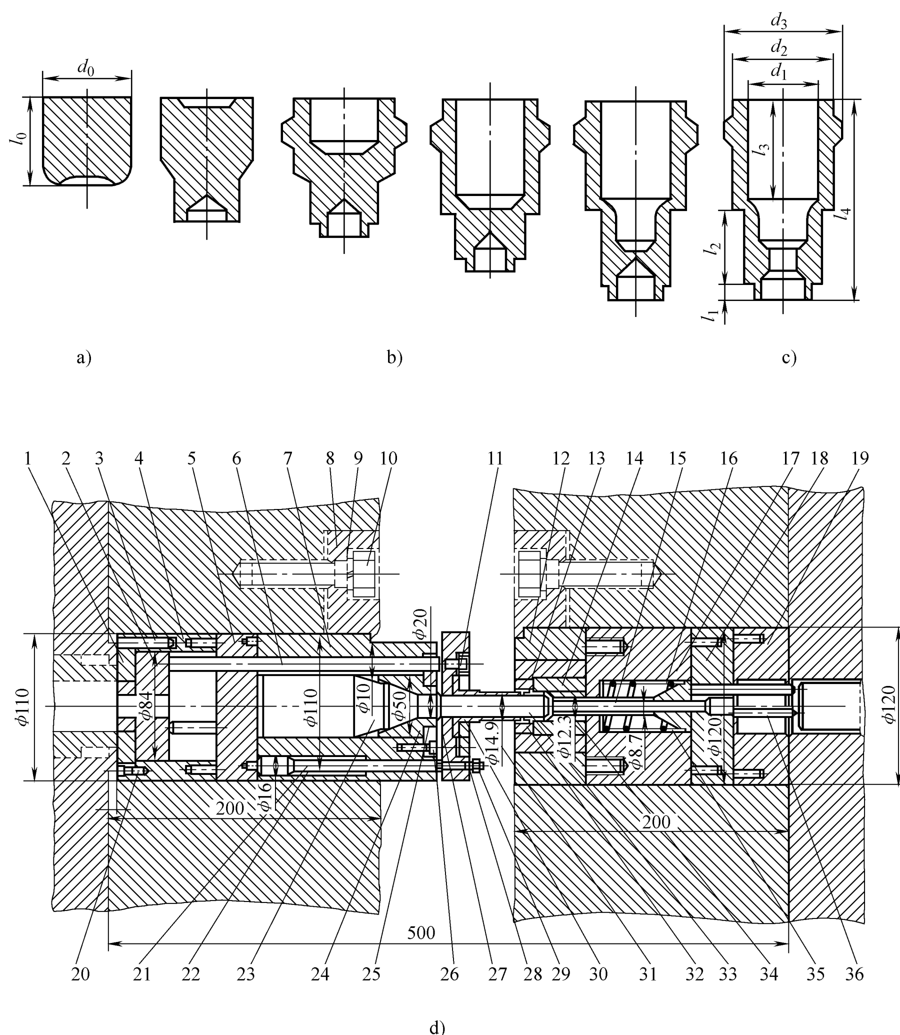


图 12-91　火花塞壳体（多工位自动机）冷挤压模具

a）毛坯　b）工序　c）零件　d）模具结构

1、4、5、7—凸模垫板　2—卸料顶板　3—定位销　6—卸料顶杆　8—凸模压板　9、28—弹簧垫圈　10、11、20、26—内六角螺钉　12—外层凹模套　13—中层凹模套　14、32、34—凹模镶块　15—下凸模　16—环形顶出器　17、18、19—凹模垫板　21—复位螺柱　22、35—压缩弹簧　23—凸模垫块　24—凸模压块　25—凸模压块压板　27—卸料环固定板　29—六角螺母　30—卸料环压板　31—环形卸料器　33—凸模　36—凹模顶出顶杆

顶杆 36 的作用，环形顶出器 16 将向前推进，把挤压件从凹模的型腔内顶出，然后靠压缩弹簧 35 的工作复位。

附　　录

附录 A　冷挤压模具各个零件的材料及硬度

类别	零件名称			材料	硬度 HRC
工作零件类	凸模	挤压件材料	有色金属及其合金	T10A、CrWMn、GCr15	60～62
			低碳钢	GCr15、W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、Cr12MoV	
			合金结构钢	Cr12MoV、硬质合金、基体钢	
	凹模		纯铝、锡	T10A、CrWMn、GCr15	60～64
			铝合金、铜合金	GCr15、W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、Cr12MoV	
			低碳钢	Cr12MoV、W6Mo5Cr4V2、基体钢	
			合金结构钢	Cr12MoV、硬质合金、基体钢、钢结硬质合金	
支承与夹持类	模柄			45	30～32
	上模板（座）			45	36～42
	下模板（座）				
固定类	凸模固定圈（板）			45	43～48
	凹模固定圈（板）			35CrMoA、T8A	52～56
导向类	导柱			20	58～60（渗碳）
	导套				
	导板			T12	58～62
卸件类	顶料杆			Cr12MoV	60～62
	顶杆、顶板、环形顶筒			T10A、T12	58～62
	推杆、脱料板、拉杆、反拉杆			45	36～42
	拉杆衬套			20	58～60（渗碳）
传压类	上、下压力板（垫板）			T10A	60～62
	模芯、凹模支承			T10A、W18Cr4V	58～62
	外预应力圈、内预应力圈			35CrMoA	45～47
紧固类	卸料螺钉			45	35～40
	螺钉、螺栓、圆柱销			35	28～38

附录 B　常用压力机技术参数

表 B-1　开式压力机技术参数

公称压力/kN			40	63	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
发生公称压力时滑块距下死点的距离/mm			3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	10	12	12	13	13	15
滑块行程/mm			40	50	60	70	80	100	120	130	140	140	160	160	200	200	250
行程次数/(次/min)			200	160	135	115	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	25
最大封闭高度/mm	固定台和可倾式		160	170	180	220	250	300	360	380	400	430	450	450	500	500	550
	活动台位置	最低	—	—	—	300	360	400	460	480	500	—	—	—	—	—	—
		最高	—	—	—	160	180	200	220	240	260	—	—	—	—	—	—
封闭高度调节量/mm			35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170
滑块中心到床身的距离/mm			100	110	130	160	190	220	260	290	320	350	380	380	425	425	480
工作台尺寸/mm	左右		280	315	360	450	560	630	710	800	900	970	1120	1120	1250	1250	1400
	前后		180	200	240	300	360	420	480	540	600	650	710	710	800	800	900
工作台孔尺寸/mm	左右		130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700
	前后		60	70	90	110	130	150	180	210	230	250	300	300	350	350	400
	直径		100	110	130	160	180	200	230	260	300	340	400	400	460	460	530
立柱间的距离/mm			130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700
活动台压力机滑块中心到床身紧固工作台平面的距离/mm			—	—	—	150	180	210	250	270	300	—	—	—	—	—	—
模柄孔尺寸:(直径/mm)×(深度/mm)			$\phi30\times50$				$\phi50\times70$			$\phi60\times75$			$\phi70\times80$		T 形槽		
工作台板厚度/mm			35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170
倾斜角(可倾式工作台压力机)/(°)			30	30	30	30	30	30	30	30	25	25	25	—	—	—	—

表 B-2　闭式单点压力机技术参数

公称压力/kN	公称压力行程/mm	滑块行程/mm		滑块行程次数/(次/min)		最大装模高度/mm	装模高度调节量/mm	导轨间距/mm	滑块底面前后尺寸/mm	工作台面尺寸/mm	
		Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅰ型	Ⅱ型					前后	左右
1600	13	250	200	20	32	450	200	880	700	800	800
2000	13	250	200	20	32	450	200	980	800	900	900
2500	13	315	250	20	28	500	250	1080	900	1000	1000
3150	13	400	250	16	28	500	250	1200	1020	1120	1120

（续）

公称压力/kN	公称压力行程/mm	滑块行程/mm		滑块行程次数/(次/min)		最大装模高度/mm	装模高度调节量/mm	导轨间距/mm	滑块底面前后尺寸/mm	工作台面尺寸/mm	
		Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅰ型	Ⅱ型					前后	左右
4000	13	400	315	16	25	550	250	1330	1150	1250	1250
5000	13	400	—	12	—	550	250	1480	1300	1400	1400
6300	13	500	—	12	—	700	315	1580	1400	1500	1500
8000	13	500	—	10	—	700	315	1680	1500	1600	1600
10000	13	500	—	10	—	850	400	1680	1500	1600	1600
12500	13	500	—	8	—	850	400	1880	1700	1800	1800
16000	13	500	—	8	—	950	400	1880	1700	1800	1800
20000	13	500	—	8	—	950	400	1880	1700	1800	1800

表 B-3　闭式双点压力机技术参数

公称压力/kN	公称压力行程/mm	滑块行程/mm	滑块行程次数/(次/min)	最大装模高度/mm	装模高度调节量/mm	导轨间距①/mm	滑块底面前后尺寸/mm	工作台面尺寸/mm	
								左右①	前后
1600	13	400	18	600	250	1980	1020	1900	1120
2000	13	400	18	600	250	2430	1150	2350	1250
2500	13	400	18	700	315	2430	1150	2350	1250
3150	13	500	14	700	315	2880	1400	2800	1500
4000	13	500	14	800	400	2880	1400	2800	1500
5000	13	500	12	800	400	3230	1500	3150	1600
6300	13	500	12	950	500	3230	1500	3150	1600
8000	13	630	10	1250	600	$\frac{3230}{4080}$	1700	$\frac{3150}{4000}$	1800
10000	13	630	10	1250	600	$\frac{3230}{4080}$	1700	$\frac{3150}{4000}$	1800
12500	13	500	10	950	400	$\frac{3230}{4080}$	1700	$\frac{3150}{4000}$	1800
16000	13	500	10	950	400	$\frac{5080}{6080}$	1700	$\frac{5000}{6000}$	1800
20000	13	500	8	950	400	$\frac{5080}{7580}$	1700	$\frac{5000}{7500}$	1800
25000	13	500	8	950	400	7580	1700	7500	1800
31500	13	500	8	950	400	$\frac{7580}{10080}$	1900	$\frac{7500}{10000}$	2000
40000	13	500	8	950	400	10080	1900	10000	2000

①　分母为大规格尺寸。

表 B-4　部分国产冷挤压机主要参数

名　称	型号	公称压力/kN	滑块行程/mm	工作行程/mm	行程次数/(次/min)	最大封闭高度/mm	主电动机功率/kW
偏心式下传动冷挤压机	J87-160	1600	230	25	34	385	30
	J87-300	3000	300	40	33	550	55
	J87-400	4000	250	40	25	670	100
	J87-630	6300	300	40	18	750	130
卧式曲轴式冷挤压机	JA88-200	2000	273	55	65	480	13
	JA88-315	3150	400	55	16	715	75
	JA88-500	5000	420	60	16	835	115
开式拉力肘杆式冷挤压机	J88-100	1000	60	4	60	265	5.5
	J88-200	2000	160	4	30	420	22
闭式拉力肘杆式冷挤压机	J88-160	1600	70	4	80	265	5.5
	J88-400	4000	160	10	—	—	40

表 B-5　精压机及上移式精压机基本参数

型　号	J84-400	JA84-800	J84-1250	JA84-2000A	J2-015D	JD-001	JD-002
公称压力/kN	4000	8000	12500	20000	20000	630	1250
公称压力行程/mm	2	1.5	2	3	3	—	—
滑块行程/mm	130	125	150	200	200	25	25
滑块行程次数/(次/min)	50	26	25	18	18	25	25
最大装模高度/mm	520	340	400	620	1130	283	335
装模高度调节量/mm	15	15	15	15	15	5	5
工作台板尺寸：(长/mm)×(宽/mm)	660×640	720×800	980×1010	1280×1300	1280×1300	250×280	250×280
滑块底面尺寸：(长/mm)×(宽/mm)	400×600	410×715	640×970	850×980	850×980	230×310	255×350
电动机功率/kW	17	22	30	55	55	3	4

表 B-6　国外部分冷挤压机主要参数

一、日本小松制作所							
名　称	型　号	公称压力/kN	滑块行程/mm	工作行程/mm	行程次数/(次/min)	最大封闭高度/mm	主电动机功率/kW
开式拉力肘杆式冷挤压机	MKN-63	630	60	4	70	250	3.7
	MKN-100	1000	60	4	60	265	5.5

（续）

名　称	型　号	公称压力/kN	滑块行程/mm	工作行程/mm	行程次数/(次/min)	最大封闭高度/mm	主电动机功率/kW
闭式拉力肘杆式冷挤压机	MKN-160	1600	70	4	65	300	11
	MKN-300	3000	90	4	50	360	15
	MKN-600	6000	148	6	40	420	55
	MKN-1000	10000	180	8	35	800	95
偏心式下传动冷挤压机	MKR-100	1000	215	23	36	390	22
	MKR-160	1600	235	25	34	385	30
	MKR-300	3000	320	35	30	540	55

二、德国舒勒公司

名　称	型　号	公称压力/kN	滑块行程/mm	工作行程/mm	行程次数/(次/min)	立柱间距/mm
普通肘杆式冷挤压机	K250-0. 45-200	2500	200	5	63	460
	K400-0. 70-250	4000	250	6. 5	50	710
	K630-0. 80-320	6300	320	10	40	810
	K1000-0. 90-350	10000	350	10	30	910
单点偏心式冷挤压机	F_1 400 0. 80 400	400	400	40	45	860
	F_1 630 1. 00 500	6300	500	40	40	1060
	F_1 1000 1. 25 560	10000	560	50	25	1310
双点偏心式冷挤压机	F_2 400 1. 25 400	4000	400	40	45	1310
	F_2 630 1. 60 500	6300	500	40	40	1660
	F_2 1000 2. 00 560	10000	560	50	25	2060

表 B-7　部分自动冷镦机基本参数

类　型		制件杆部直径/mm	制件杆部长度/mm	坯料长度/mm	生产率/(件/min)	镦锻力/kN	滑块行程/mm	电动机功率/kW
单击式	Z11-4	$\phi4$	20	—	130 ~ 150	300	60	3
	Z11-6	$\phi6$	40	—	130 ~ 160	500	85	5. 5
	Z11-8	$\phi8$	40	—	130 ~ 160	650	85	7. 5
双击式	Z12-4A	$\phi2.5$ ~ $\phi4$	6 ~ 32	12 ~ 48	130	—	56	3
	ZG12-4A	$\phi2.5$ ~ $\phi4$	40	51. 5	110 ~ 210	300	85	5. 5
	ZA12-6	$\phi6$	30 ~ 85	110	80 ~ 100	250	150	5. 5
	Z12-8	$\phi6$ ~ $\phi8$	10 ~ 50	110	75	—	114	10
三击式	Z19-10	$\phi10$	50	—	75	800	110	13

表 B-8　通用液压机主要技术参数

产品名称	型号	技术参数							电机功率/kW	重量/kN	外形尺寸：(前后/mm)×(左右/mm)×(高/mm)
		公称压力/kN	滑块行程/mm	顶出力/kN	工作台尺寸：(前后/mm)×(左右/mm)×(距地面高/mm)	工作行程速度/(mm/s)	活动横梁至工作台最大距离/mm	液体工作压力/MPa			
双柱万能液压机	Y31-63	630	300	3	500×500			32	1.7	19.8	1000×1030×2320
双柱万能液压机	Y31-100	1000	300		500×600	6	780	32	7.5	25	1235×1540×2560
四柱万能液压机	Y32-50	500	400	75	490×520×800	16	600	20	10	31	550×800×2430（主机） 1220×610×1200（动力）
四柱万能液压机	YB32-63	630	400	95	490×520×800	6	600	25	5.5	30	635×1563×2440
四柱万能液压机	Y32-100	1000	600	150	580×580×800 500×500×800	12	900	20	17	55	720×1030×3400（主机） 1220×610×1200（动力）
四柱万能液压机	Y32-100A	1000	600	165	600×600×700	20	850	21	17	25	600×1000×2980（主机） 620×1300×1200（动力）
四柱万能液压机	YB32-100	1000	600	150	580×600×800	8	900	20	13		1930×2300×3470
四柱万能液压机	Y32-200	2000	700	300	760×710×900	6	1100	20	17	106	760×1320×4860（主机） 1235×640×1209（动力）
四柱万能液压机	YB32-200	2000	700	300	760×730×900	10	1100	20	22	110	200×300×4930（地上） 250（地下）
四柱万能液压机	Y32-300	3000	800	300	1140×1210×700	4.3	1240	20	17	156	1210×1700×5600（主机） 1235×640×1209（动力）
四柱万能液压机	YB32-300	3000	800	300	1140×1210×700	6.8	1240	20	22	160	2000×3400×6160

参 考 文 献

［1］ 卢险峰．冷锻工艺与模具［M］．北京：机械工业出版社，1999.

［2］ 周雄辉，彭颖红，洪慎章，等．现代模具设计制造理论与技术［M］．上海：上海交通大学出版社，2000.

［3］ 胡亚民，伍太宾，赵军华．摆动辗压工艺及模具设计［M］．重庆：重庆大学出版社，2001.

［4］ 陈再枝，兰德年．模具钢手册［M］．北京：冶金工业出版社，2002.

［5］ 吕炎．精密塑性体积成形技术［M］．北京：国防工业出版社，2003.

［6］ 中国模具设计大典编委会．中国模具设计大典：第 4 卷［M］．南昌：江西科学技术出版社，2003.

［7］ 金仁钢．实用冷挤压技术［M］．哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2005.

［8］ 张凯锋．微成形制造技术［M］．北京：化学工业出版社，2008.

［9］ 蒋秀珍，马惠萍．精密机械学基础［M］．北京：科学出版社，2009.

［10］ 洪慎章．实用冷挤压模具结构图册［M］．北京：化学工业出版社，2009.

［11］ 洪慎章．实用冷挤压模设计与制造［M］．北京：机械工业出版社，2010.

［12］ 洪慎章．压力缸的摆辗挤压工艺［J］．锻压技术，1992（5）：43-44.

［13］ 洪慎章．影响冷挤压模具寿命的因素分析［J］．模具制造：2004（6）：53-55.

［14］ 洪慎章．温挤压工艺的应用［J］．模具技术，2004（4）：43-45，62.

［15］ 洪慎章．冷挤压用的高速钢热加工工艺［J］．模具市场，2004（7）：15-19.

［16］ 洪慎章．冷挤压工艺及模具 CAD［J］．模具工程，2004（6）：38-42.

［17］ 洪慎章．钢质硬质合金在冷作模具中的应用［J］．模具市场，2004（9）：16-18.

［18］ 王春举，曲东生，周键，等．精密微塑性成形系统的研制［J］．锻压技术，2005（3）：56-59.

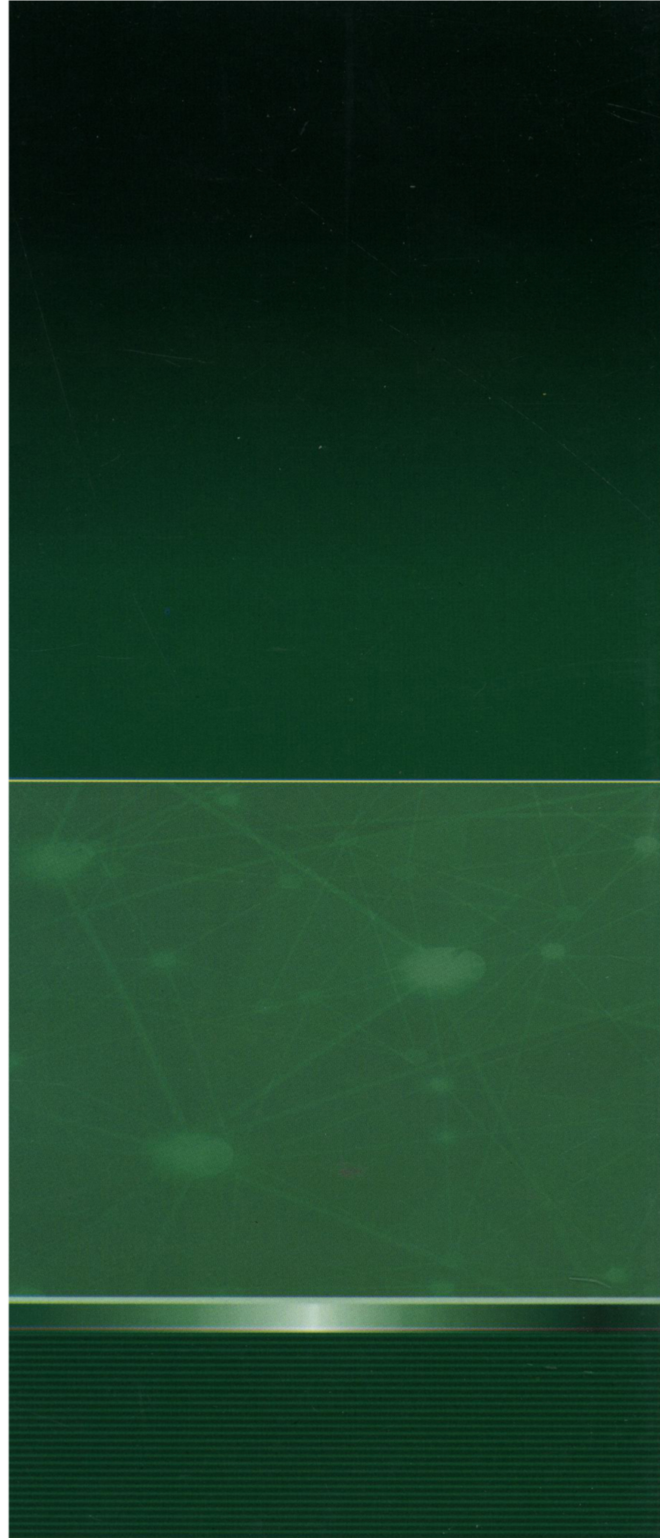
［19］ 童忠财，于沪平．微成形热挤压．试验及模具设计［J］．模具技术，2007（2）：17-20.

［20］ 马智慧，董湘怀，梅琼风，等．微细塑性成形工艺实现及最新研究进展［J］．模具技术，2008（3）：12-15.

［21］ 赵雅珠，于沪平，陈金晶．ZL101 合金等温微挤压试验研究［J］．模具技术，2010（2）：1-3.

［22］ 洪慎章．微型零件的制造技术［J］．CMJ 中国机械与金属，2011（10/11）：60-61.

［23］ 洪慎章．微型零件精密挤压成形的应用及模具设计［C］．//第五届模具实用技术论坛会议论文集．上海，2012.



本书主要内容

◎冷挤压基础

◎冷挤压件的原材料及毛坯准备

◎冷挤压零件设计

◎冷挤压工艺制订

◎冷挤压模具设计

◎冷成形工艺

◎温挤压技术

◎冷挤压压力机

◎冷挤压模具的装配及使用

◎冷挤压件质量分析

◎冷挤压零件工艺实例129个

◎冷挤压模具结构设计实例91个

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／机械工程／锻压

ISBN 978-7-111-46647-5

策划编辑◎陈保华 / 封面设计◎陈沛



定价：69.00元